



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Politècnica Superior d'Enginyeria
de Manresa

Hidrogeología del sistema kárstico de las Cuevas del Toll

Montse Fuertes Córdoba

TUTOR: David Parcerisa y Josep Font

DPT: d'Enginyeria Minera, Industrial y TIC

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a mi familia por haberme dado la oportunidad de poder realizar estos estudios, que de pequeña me incitaron e iniciaron en esta profesión y finalmente gracias a ellos, esta ha sido la carrera que elegí para poder ejercer en mi futuro. Agradecerles también la paciencia que han tenido en acercarme cada vez que lo necesitaba a Moià, para poder investigar y estudiar el entorno de las Cuevas del Toll.

En especial a mi pareja, Miguel Ariza, por haberme apoyado en todo momento y por estar pendiente de mi y por creer en mis conocimientos y capacidades.

A mis amigos, Josep Pallarés, Anna Gras y Jordi Suárez por ayudarme en los momentos difíciles y ser siempre un punto de apoyo.

Gracias a Marta Fábregas (coordinadora y responsable de las cuevas del Toll) por haberme proporcionado los datos con los que se han trabajado en este proyecto y mostrarme la belleza que esconden estas cavidades.

A mi tutor David Parcerisa por tener la paciencia en estos años de poder orientarme y estar ahí en todos los momentos que lo he necesitado.

RESUMEN

Las cuevas kársticas del Toll se localizan en el municipio de Moirà. Este complejo lo integran cuatro cavernas y una sima que se formaron durante el periodo del Plioceno en el Cuaternario. Como cueva principal se encuentra la cueva del Toll, con una profundidad de 1148 metros. También se encuentra la cueva de las Toixoneres con una profundidad de 50 metros y finalmente la cueva Muerta de 100 metros de profundidad.

El 30 de Noviembre del 2014 estas cuevas se inundaron, hecho que no ocurría desde el año 1981. A partir de esa fecha hasta hoy han sido repetidas las ocasiones que las cuevas se han anegado. Esto ha provocado la destrucción de las pasarelas de acceso y la acumulación de terrazas dentro de la cueva del Toll.

El principal objetivo de este trabajo es hallar la fuente de agua que provoca estas inundaciones, para ello se realiza un estudio geológico e hidrogeológico de la zona. El estudio geológico consiste en analizar las gravas encontradas en el interior de la cavidad para poder determinar la roca madre y en cartografiar de manera detallada los alrededores de la cueva del Toll para examinar el sistema kárstico que lo forma y a escala general para tener una visión global de la litología presente del territorio. Como estudio hidrogeológico se analiza los componentes químicos del agua obtenida dentro de la cueva para realizar una comparación con el torrente y fuentes ubicadas alrededor de la zona.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	2
2.1. Objetivos específicos.....	2
2.2. Objetivos ejecutados.....	2
3. MARCO TECTÓNICO	3
3.1. Hidrogeología kárstica.....	3
3.2. Actividad química del agua	4
3.3. Tectónica de la caliza.....	5
4. CONTEXTO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO	6
4.1. Geografía física.....	6
4.2. Historia geológica	7
4.2.1. Tectónica	8
4.3. Formaciones geológicas	9
5. COMPLEJO KÁRSTICO DE LAS CUEVAS DEL TOLL	11
5.1. Descripción geológica.....	16
5.2. Estratigrafía de las cavidades	17
5.3. Inundaciones en la cueva del Toll	20
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
7. TRABAJOS PRÉVIOS	23
8. RESULTADOS	28
8.1. Inundaciones acontecidas	28
8.2. Cartografía en las cuevas del Toll.....	31
8.3. Hidrología en las cuevas del Toll	33
8.3.1. Hidrología del Toll.	33
8.3.2. Análisis de aguas en las cuevas del Toll	38
8.4. Estudio hidrológico en la riera de la Golarda y pozo de Perers.	47
9. DISCUSIÓN	56
10. CONCLUSION	60
11. BIBLIOGRAFÍA	61
ANEXOS	64

1. INTRODUCCIÓN

Las cuevas del Toll se localizan a 4 Kilómetros al este del municipio de Moià, Barcelona, y se caracterizan por su riqueza arqueológica y ser junto al Museo Arqueológico y Paleontológico de Moià uno de los principales elementos patrimoniales y culturales de Cataluña.

El principal problema de las cuevas del Toll son las repetidas inundaciones que sufren en periodos de fuertes precipitaciones, provocando que las instalaciones y trabajos que se realizan dentro de la cavidad principal, cueva del Toll, resulten afectadas dando lugar a reformas frecuentes de los componentes que forman la cavidad.

Por este motivo se ha realizado este proyecto, donde mediante un estudio hidrogeológico se intenta averiguar la procedencia del agua, para poder evitar las inundaciones frecuentes que dañan la cavidad principal y en la que diariamente se efectúan visitas guiadas para poder visualizar una cueva de belleza espectacular.

En la primera parte de este proyecto se describirán las características principales de un modelado kárstico, su diagénesis y los parámetros correspondientes para su formación. Posteriormente para entender este mágico complejo kárstico donde se ubican las cuevas del Toll, se realiza una descripción geográfica del municipio, Moià, así como la situación física, situación geológica, tectónica y formaciones geológicas predominantes de la zona.

También se detalla con más profundidad las características principales de este complejo, su ubicación exacta, las cavidades que la componen y la morfología de la cueva.

A continuación se resumen las características físico-químicas de unas fuentes localizadas en los alrededores de Moià para ver la calidad de estas aguas y se compararán con las aguas analizadas dentro de las cuevas del Toll para el mismo año. Después se detallará los parámetros de las muestras recogidas en la cavidad. Por último, se realiza el análisis hidrológico de las cuevas del Toll y finalmente el análisis hidrogeológico de dos puntos localizados en los alrededores de la zona de estudio.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es averiguar la procedencia de las aguas que inundan la cueva del Toll en períodos de lluvia y proponer una pauta de actuación para proceder de manera resolutiva e intentar reducir la frecuencia de este fenómeno y minimizar sus efectos.

2.1. Objetivos específicos

Para conseguir este propósito se ha realizado un estudio hidrogeológico del sistema kárstico de la zona donde se ubican las cuevas del Toll. Esto conlleva un estudio cartográfico e hidrológico de la zona para poder determinar la litología predominante y estudiar la hidrología del área de interés.

En el estudio geológico se ha examinado la litología dominante de la zona, donde se ha medido direcciones de capa y buzamientos de diferentes puntos ubicados en los alrededores de las cuevas.

Para el estudio hidrogeológico, se han obtenido los resultados físico-químicos de dos puntos de interés para proceder a la investigación: un pozo localizado en el municipio de Moià y los de un torrente próximo a la cavidad.

Esta investigación intenta solventar la problemática actual mediante hipótesis primordiales y aportar la mayor información posible y complementarla con otros estudios para minimizar la anegación de la cavidad principal.

2.2. Objetivos ejecutados

Con la colaboración de la Diputación de Barcelona, durante la realización de este proyecto, se han tomado medidas preventivas para poder evitar una futura inundación. Entre estas medidas cabe destacar, una tomografía eléctrica para investigar las posibles nuevas entradas de agua y conocer de manera más exacta la circulación del río subterráneo existente dentro de la cavidad que emerge en épocas de fuertes precipitaciones dentro de la cueva. También la instalación de barreras físicas y canales de desagüe para prevenir nuevas erosiones. Aún así, con estas medidas tomadas la cueva del Toll se volvió a inundar de nuevo el 25 de Marzo de 2017.

3. MARCO TECTÓNICO

Se denomina modelado kárstico al conjunto de acciones y procesos de modelado condicionados por la presencia de rocas carbonatadas, fundamentalmente calizas, que siendo solubles bajo determinadas condiciones, dan lugar a morfología y paisajes peculiares. Es por tanto un tipo de modelado condicionado por la presencia de un tipo determinado de roca, la caliza y la disponibilidad de agua líquida, más o menos cargada de dióxido de carbono disuelto, lo que limita el desarrollo de relieves kársticos.

Las formas kársticas pueden clasificarse en formas subaéreas y formas subterráneas, y según su lugar de origen, en formas exokársticas (de origen subaéreo) y formas endokársticas (de origen subterráneo). Combinando ambos criterios, podemos distinguir: formas exokársticas subaéreas, formas endokársticas subterráneas y formas endokársticas subaéreas (Bastida, 2005).

3.1. Hidrogeología kárstica

La hidrogeología kárstica es la parte de la Hidrogeología que estudia la circulación del agua en las rocas calizas y rocas solubles en general. Como consecuencia de la solubilidad de la caliza, la circulación va acompañada de una serie de fenómenos químico-físicos sobre la superficie topográfica, antes de que el agua haya penetrado en el seno de la caliza, puesto que los fenómenos químico-físicos antes aludidos comienzan ya durante las lluvias y la circulación de las aguas de escurrimiento. El agua kárstica, el agua circulante por la caliza, es la causante de una serie de fenómenos de erosión y disolución subterránea. El principal resultado es la generación de cavernas.

Los fenómenos kársticos son el conjunto de transformaciones que se producen en una región caliza como consecuencia de la circulación del agua, estos fenómenos se producen como resultado del equilibrio del sistema agua-caliza. El agua es el elemento generador o activo, mientras que la caliza el medio en que se desarrollan los fenómenos o elemento pasivo. Cuando el equilibrio se perturba, los fenómenos kársticos dejan de funcionar. La perturbación solo puede producirse por ausencia o por pérdida de actividad del elemento activo agua, que es el elemento transitorio, en oposición a la caliza, que es un elemento permanente. Por lo tanto, los fenómenos kársticos seguirán activos siempre y cuando exista una circulación hídrica, que depende proporcionalmente del clima. (Llopis, 1970)

En los procesos hidrológicos de zonas kársticas no saturadas, existen factores importantes de control: la infiltración química del agua, la composición isotópica y la dinámica de flujo. Esta variabilidad es el resultado tanto de la heterogeneidad del Karst (física) y la variabilidad temporal climática. Esto, junto con la precipitación en superficie y la descarga dentro de la cavidad hace que la dinámica de los sistemas kársticos no sea lineal (Baker y Brunsdon, 2003).

La triple porosidad existente de forma natural en los karst, permite un amplio rango de variabilidad en los caudales: flujo lento de la matriz como consecuencia de la conexión existente de la porosidad primaria, flujo real a través de las fracturas y fisuras y por último el flujo rápido a través de los conductos en calizas que han sido sometidas a la actividad tectónica o neotectónica durante la formación de la cueva (Ford y Williams, 2007).

La alta porosidad secundaria existente se asocia al epikarst, zona de la roca carbonatada que está fuertemente degradada y que puede actuar como un depósito lento de almacenamiento de agua (Arbel et al., 2010; Kiraly et al., 1995; Williams, 1983; Yonge et al., 1985).

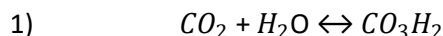
3.2. Actividad química del agua

Las aguas de infiltración pueden ser:

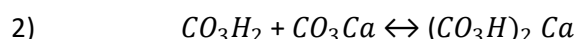
- ➔ De origen fluvial
- ➔ De precipitación atmosférica
- ➔ De fusión de nieve
- ➔ De fusión de hielo.

Estos cuatro tipos de agua tienen distinta capacidad de disolución, puesto que mientras las aguas de fusión de nieve y hielo no tienen salinidad alguna, siendo prácticamente, equiparables a agua destilada, las aguas pluviales y fluviales, sobre todo estas últimas, tienen un cierto grado de salinidad que las hacen menos activas químicamente. Cuando estas cuatro tipos de agua penetran en el manto freático se homogeneizan y mezclan rápidamente, disolviendo las sales contenidas en la litofacies de manto, adquiriendo un cierto grado de salinidad.

Las aguas que llegan al Karst con cierto grado de salinidad, como son las pluviales y sobre todo las fluviales, tienen un poder disolvente realmente bajo, mientras que, por el contrario, las procedentes de la fusión de nieve y hielo lo tienen más elevado, como consecuencia de su menor salinidad. Por lo tanto, la disolución de la caliza depende del mayor o menor grado de salinidad inicial del agua, puesto que las calizas son un material totalmente insoluble en condiciones normales. Para que la caliza pueda disolverse hace falta que el agua posea una determinada acidez, y que esta acidez, en la mayoría de los casos, se la proporciona el CO_2 que pueda tener en disolución, reacción 1:



El producto dado en esta reacción es el ácido carbónico, donde este actúa sobre la caliza y se transforma en bicarbonato cálcico, reacción 2:



, siendo el bicarbonato cálcico soluble en el agua, con lo que ésta se enriquecerá de este modo de CO_3Ca .

La acidez del agua, medida por el pH, influye considerablemente en su poder disolvente. Las aguas con pH bajos son las más agresivas porque contienen ácidos en mayor proporción. Como se ha observado, la agresividad del agua para la caliza está finalmente determinada por las cantidades de CO_2 que el agua pueda contener. La capacidad de disolución del CO_2 en el agua depende también de la temperatura, de tal modo las aguas frías, a igualdad de presión, disuelven mayor cantidad de CO_2 , que las aguas templadas o calientes. (Llopis, 1970)

Además del CO_2 , el agua cárstica puede contener otras sustancias que aumenten su poder disolvente, tales como ácidos húmicos procedentes de la desintegración bacteriana de la materia vegetal u otros ácidos minerales.

3.3. Tectónica de la caliza

La caliza es una roca de plasticidad media y variable, puesto que cambia de relación con la estructura congénita. Así, las rocas calizas en bancos delgados tienen un grado de plasticidad muy superior a las calizas masivas. Las primeras se pliegan fácilmente mientras las segundas se rompen en una serie caliza, pues, la plasticidad del conjunto está en razón inversa del espesor de los estratos. En las calizas más plásticas se desarrollan pliegues, en las más rígidas, roturas, y en las de plasticidad media, pliegues y roturas al mismo tiempo. Los intervalos de un sistema de diaclasas (roturas sin desplazamiento) son tanto más pequeños cuanto más compacta es la roca. Así, que sobre una caliza margosa los intervalos pueden ser, y son siempre más grandes, del orden de varios metros; en cambio sobre una caliza litográfica o sobre una dolomía compacta, los intervalos pueden ser de uno o varios centímetros. (Llopis, 1970)

4. CONTEXTO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO

Las cuevas del Toll se localizan en el municipio de Moià, en la Cataluña Central. Moià es la capital de la subcomarca natural del Moianès y administrativamente forma parte de la comarca del Bages, dentro de la provincia de Barcelona, figura 1. (Fàbrega, 1994)

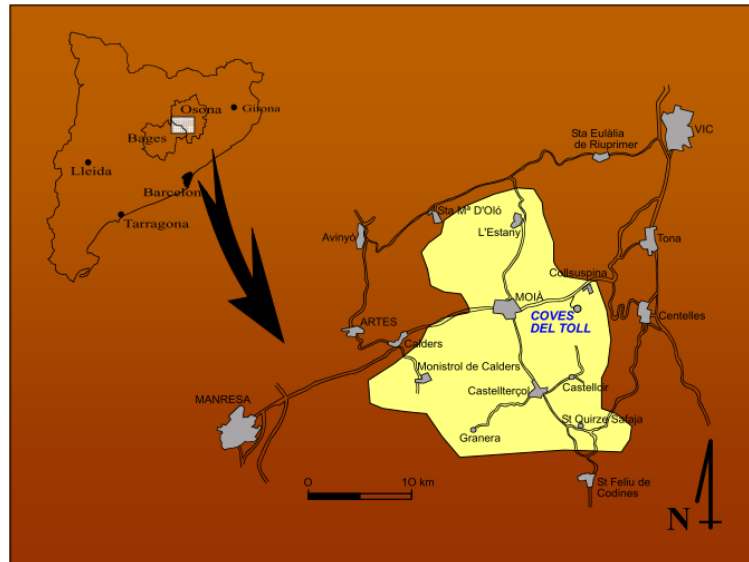


Figura 1. Ubicación de las cuevas del Toll. Localizadas a 4 Km del municipio de Moià. (Fàbrega,1994)

4.1. Geografía física

Moià se localiza a una altitud de 717 metros. En conjunto el altiplano del Moianès es una cuenca de erosión inclinada suavemente hacia el Llobregat, con una altitud mediana que oscila entre los 600 y 900 metros.

El altiplano del Moianès se encuentra rodeado por dos grandes planas de depresión Central – La Plana de Vic y el Plano del Bages-. Debido a la poca diferencia altitudinal hace que el clima de Moià tenga unas características peculiares, por ejemplo una alta tasa de pluviosidad.

La mayor parte de las aguas de las rieras, las corrientes que drenan el municipio y configuran el relieve, fluyen hacia el Llobregat a excepción de las situadas en el extremo nordeste que drenan hacia la Cuenca del Ter. (Fàbrega, 1994)

4.2. Historia geológica

Los materiales que se han estudiado en el presente trabajo forman parte de la Cuenca Catalana, la cual constituye el extremo Norte-oriental de la Cuenca del Ebro. A lo largo del Paleógeno , Terciario temprano, la Cuenca Catalana había funcionado como una cuenca sedimentaria de antepaís de las diferentes cordilleras que la rodeaban, al Norte los Pirineos, como margen activo en formación y al Sur los Catalánides con un intenso *fold on thrusting*. (Maestro, 1987)

La cuenca conectaba con el mar abierto por poniente durante el Luteciense- Bartonense y hasta el descenso generalizado en el Priabonense, desarrolló en sus bordes depósitos de plataforma siliciclástica y carbonatada. En el Priabonense medio se cerró la conexión con el mar abierto de poniente, depositándose en la zona central de la cuenca, una potente serie evaporítica salina y lateralmente unas series sulfatadas. Esta serie evaporítica cerró el ciclo de sedimentación marina de la cuenca, sobre la cual se desarrolló durante el Priabonense superior- Oligoceno inferior una sedimentación estrictamente continental y endorreica. (Saez, 1987)

Como se observa en la figura 2, los materiales geológicos que afloran en Moià pertenecen principalmente al Eoceno.

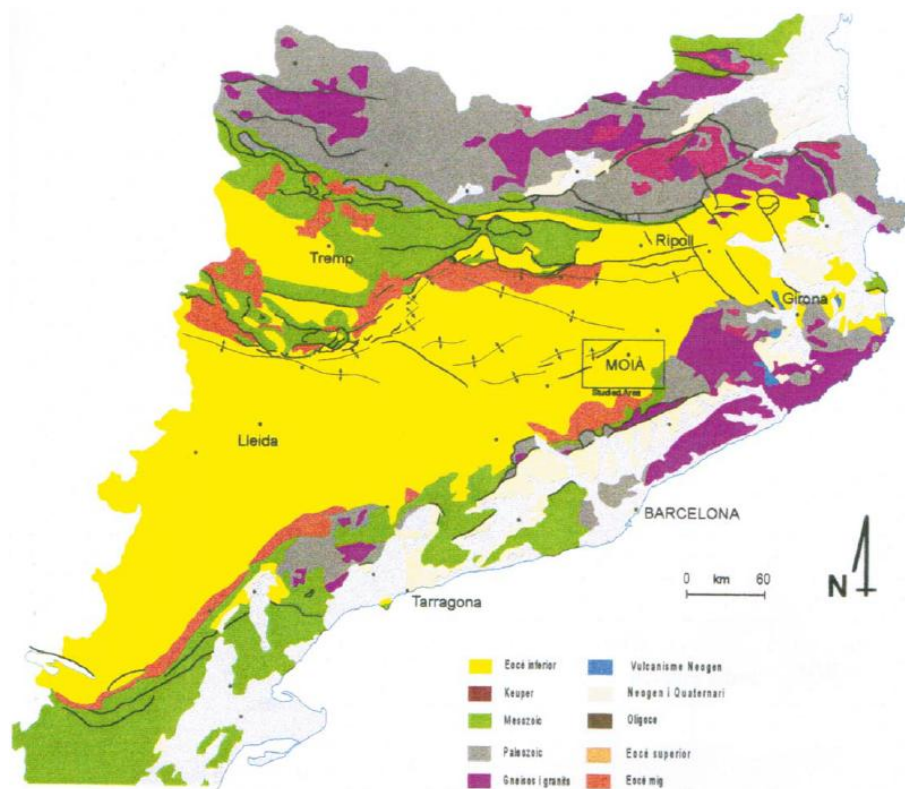


Figura 2. Mapa de Cataluña en el que se visualiza la edad litológica de los materiales. Los materiales de interés para este proyecto, en amarillo, Eoceno. (Fàbrega, 1997)

4.2.1. Tectónica

En la figura 3, se representan las principales estructuras tectónicas del sector oriental de la cuenca Catalana. Como se puede observar las principales estructuras dominantes son plegamientos. En cambio en la zona de estudio, marcado en gris, las estructuras principales son fallas.

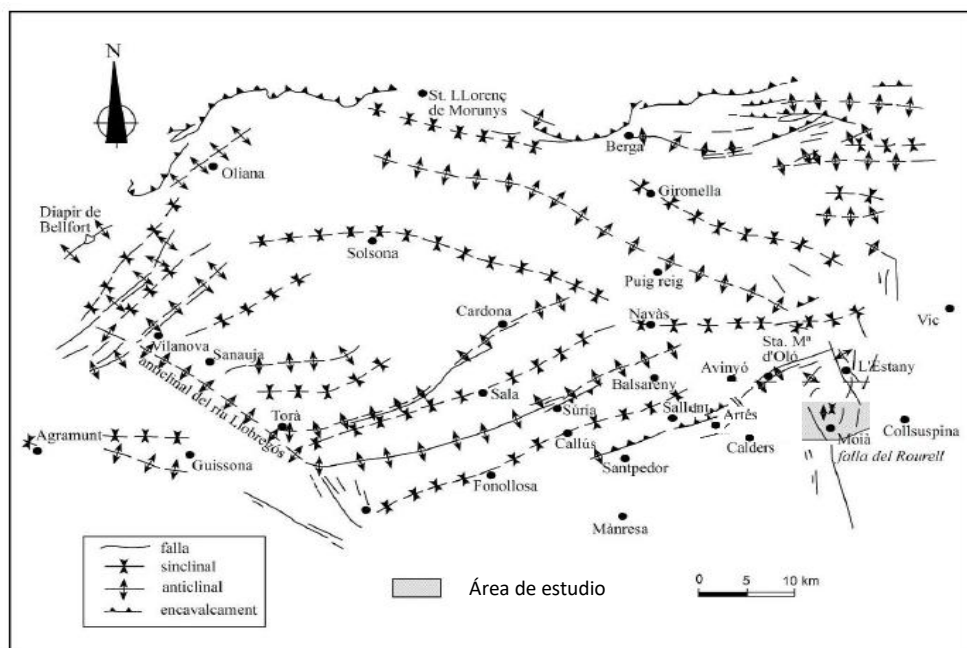


Figura 3. Esquema de las principales estructuras de plegamiento del sector oriental de la cuenca Catalana.
Modificado de Riba et al. (1975)

La falla dominante de la zona de estudio, corresponde a la falla del Rourell. La falla del Rourell, es una importante estructura de dirección NNW-SSE que afecta a los depósitos marinos eocenos y a los continentales, en el oeste de Moià. Asociada a la falla existen fracturas más pequeñas que se localizan en ambos lados de la falla, paralelas a esta. La falla del Rourell presenta un movimiento intrincado de basculamiento en unos de sus bloques, figura 4.

Como se observa, el bloque occidental presenta un movimiento balanceado con un punto de inflexión intermedio. La parte sur de este bloque afloran los sedimentos marinos eocenos. Mientras que en la parte norte del bloque basculante se hunde respecto el bloque oriental. Aproximadamente en el punto de inflexión se encuentra el límite entre los materiales marinos y los continentales. (Fàbrega, 1997)

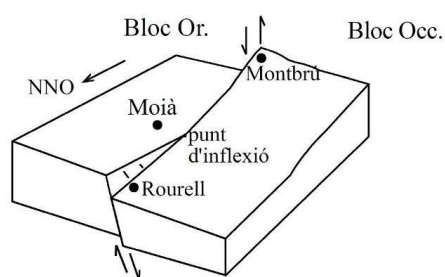


Figura 4. Diagrama del moviment basculant de la falla del Rourell. (Fàbrega, 1997)

4.3. Formaciones geológicas

Las formaciones geológicas principales en la zona de estudio se observan en el corte geológico de la figura 6. En la figura 5, se muestra la dirección y ubicación de dicho corte.

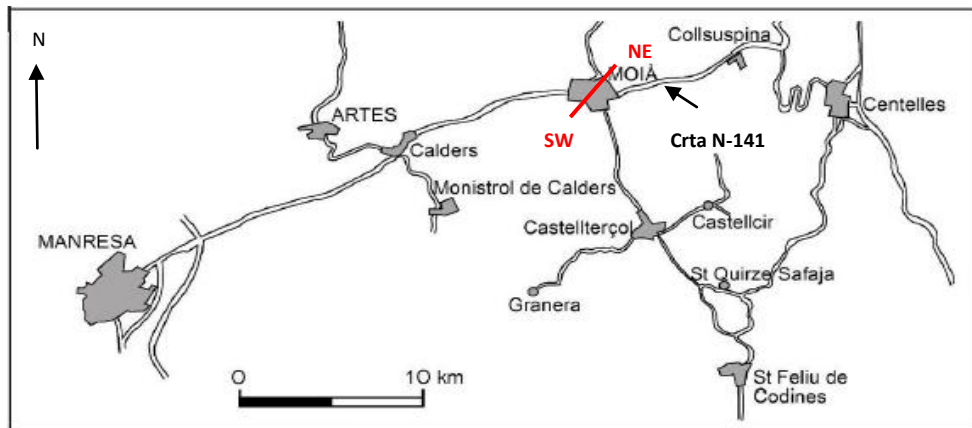


Figura 5. Ubicación y dirección del corte geológico que se muestra en la figura 6.
Modificado de Fàbrega (1997).

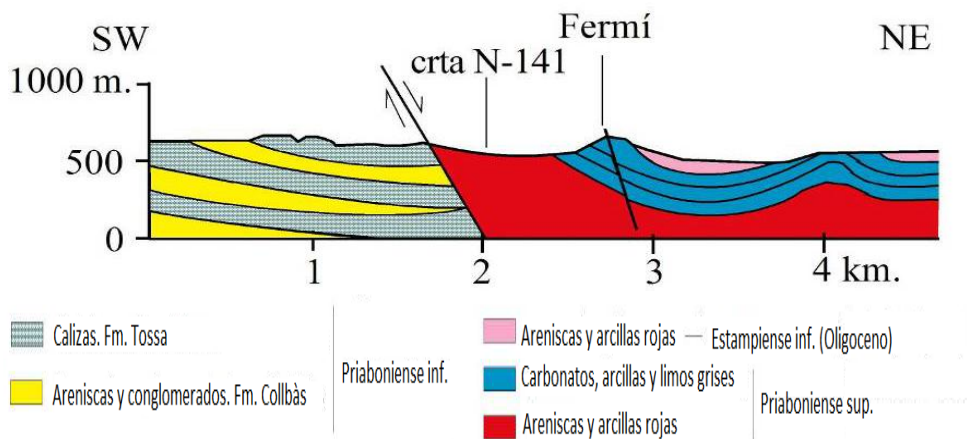


Figura 6. Corte geológico que muestra las principales estructuras y formaciones geológicas predominantes de la zona de estudio. (Fàbrega, 1997)

El sector meridional está formado por una potente serie de rocas sedimentarias de origen marino, con un espesor aproximado que varía entre los 300 y 600 metros. Las formaciones predominantes de este sector son, ordenadas de más antiguo a más moderno son:

- ➔ Formación Santa María -> Priabonense inferior. Integrado por tres miembros:
 - Miembro Collbàs -> Constituida por limolitas y areniscas arcillosas, con bancos intercalados de calizas organógenas y niveles conglomeráticos. En la figura 6 se muestra esta litología en color amarillo. (Ferrer, 1971)

- Miembro Igualada -> Margas azuladas con intercalaciones de areniscas grises. Hacia el este pasan a llamarse las margas de Vic. Esta litología no aflora en la zona de estudio. (Reguant, 1967)
- Miembro Tossa -> Calizas organógenas (algas y corales) y bioclásticas de carácter arrecifal y lagunar. Conocidas en la zona como 'calizas de Colluspina'. Se muestra en la figura 6 en color gris. (Ferrer, 1971)

El sector septentrional está constituido principalmente por niveles de arcillas rojas impermeables en los cuales se alternan cuerpos lenticulares de arenas rojas y cuerpos de calizas permeables de poco espesor. La formación geológica principal de este sector es:

- ➔ Formación Artés -> Priaboniense superior. Sedimentos continentales rojos con intercalaciones de calizas. Los sedimentos continentales están formados fundamentalmente por alternancias de areniscas y margas rojas con pequeños niveles de yesos y carbón (lignito). Esta litología se muestra en la figura 6 de color azul y roja. (Fàbrega, 1994)

5. COMPLEJO KÁRSTICO DE LAS CUEVAS DEL TOLL

La cueva del Toll, objetivo de este trabajo, constituye la principal formación Kárstica del conjunto. El origen de su formación se relaciona con el río subterráneo que atraviesa esta cueva en épocas de lluvia y que habría ido excavando y disolviendo los terrenos calizos aprovechando sus fracturas, formando una circulación subterránea con salida al torrente del Mal. El río subterráneo probablemente existía ya hace unos 1,8 millones de años, aunque la erosión de las rocas superficiales se inició durante el Mioceno (23-5,3 Ma). Las cuevas se sitúan en la Formación Tossa (Alonso et al., 1976), caracterizada por las “Calizas de Collsuspina”, predominantes en la zona. Las características de estas calizas son su color gris oscuro, compactas, mal estratificadas y afectadas por dos sistemas de diaclasas verticales orientadas principalmente de N a S y de E a O son, además, ricas en fósiles marinos tales como bivalvos, corales y foraminíferos (Gómez, 2001). Antes de su descubrimiento, esta cavidad, de unos 9 m de altura, estaba rellena de sedimentos procedentes de diversos orígenes; aún hoy estos conductos conservan vestigios laterales que en algunos puntos testimonian dicha colmatación (Rosell, 2007; Rosell et al., 2009). En ellas se han encontrado restos de presencia humana datados desde el Paleolítico Medio hasta la Edad del Bronce, pero además se han contado hasta 35 especies de mamíferos. Debido a su riqueza arqueológica es uno de los principales elementos patrimoniales y culturales de Cataluña y una de las cuevas de Europa más ricas en fauna del Cuaternario. (García, 2014)

Este complejo está formado por la cueva del Toll, la cueva de las Toixoneres, cueva Muerta y la sima del Bassot (Avenç del Bassot), figura 7.

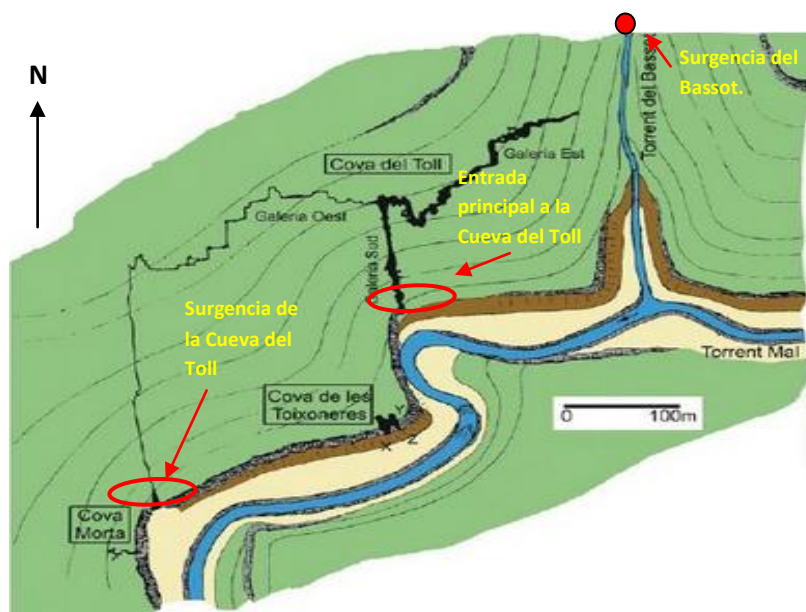


Figura 7. Ubicación de las cavidades que forman el complejo kárstico del Toll y surgencias. En color negro se muestran las galerías accesibles (sur y este). La galería oeste, acceso únicamente con un equipo de espeleología. (Fernández, 2014)

Cueva del Toll.

La cavidad visitable, denominada cueva del Toll, está formada por dos galerías en forma de “L” que siguen la misma dirección que las diaclasas presentes durante su formación, figura 8.

La entrada actual se localiza en la galería sur. De forma rectilínea llegando a los 108 metros de profundidad y entre 3 y 4 metros de ancho. Finalizado este tramo, empieza la galería este que tiene una profundidad aproximada de 72,55 metros. Conforme se adentra a las profundidades de la cavidad, se estrecha en numerosos puntos donde el acceso se dificulta con zonas de paso sifonado. Las galerías que componen la cavidad discurren por encima de un río intermitente subterráneo que se activa en periodos de precipitaciones provocando las repetidas anegaciones que sufre la cueva, de este modo y de forma preventiva se han instalado unas plataformas de madera que permiten el acceso. Estas plataformas están localizadas al final de la galería este, punto donde se inicia la inundación pero que no se sabe de manera exacta la procedencia del agua que provoca dicha inundación. El caudal del río subterráneo aflora por la boca de la surgencia, la surgencia del Toll.

Al final de la galería sur existe una bifurcación, diferenciándose a la derecha la galería este y a la izquierda la galería oeste (Fernández, 2014). En este punto se ha colocado una reja, para poder tapar la entrada a la galería oeste y poder taponar la salida de agua en caso de inundación. A esta intersección se le denomina la sala T. La galería oeste tiene un recorrido de 543 metros

Como se observa en la figura 8, en los primeros 12 metros se encuentran las primeras cerámicas encontradas y a escasos metros más, a los 50 metros se ubican las segundas cerámicas halladas. Es en esta galería donde se han recuperado la mayor parte de los restos arqueológicos y paleontológicos y es también en la galería sur donde se han realizado las catas necesarias para investigar la secuencia sedimentaria.

En la figura 9 se presentan diferentes imágenes de la cavidad en el recorrido de las galerías.

MORFOLOGIA DE LA CUEVA DEL TOLL

Ubicación de una reja que cierra el acceso a la galería oeste.

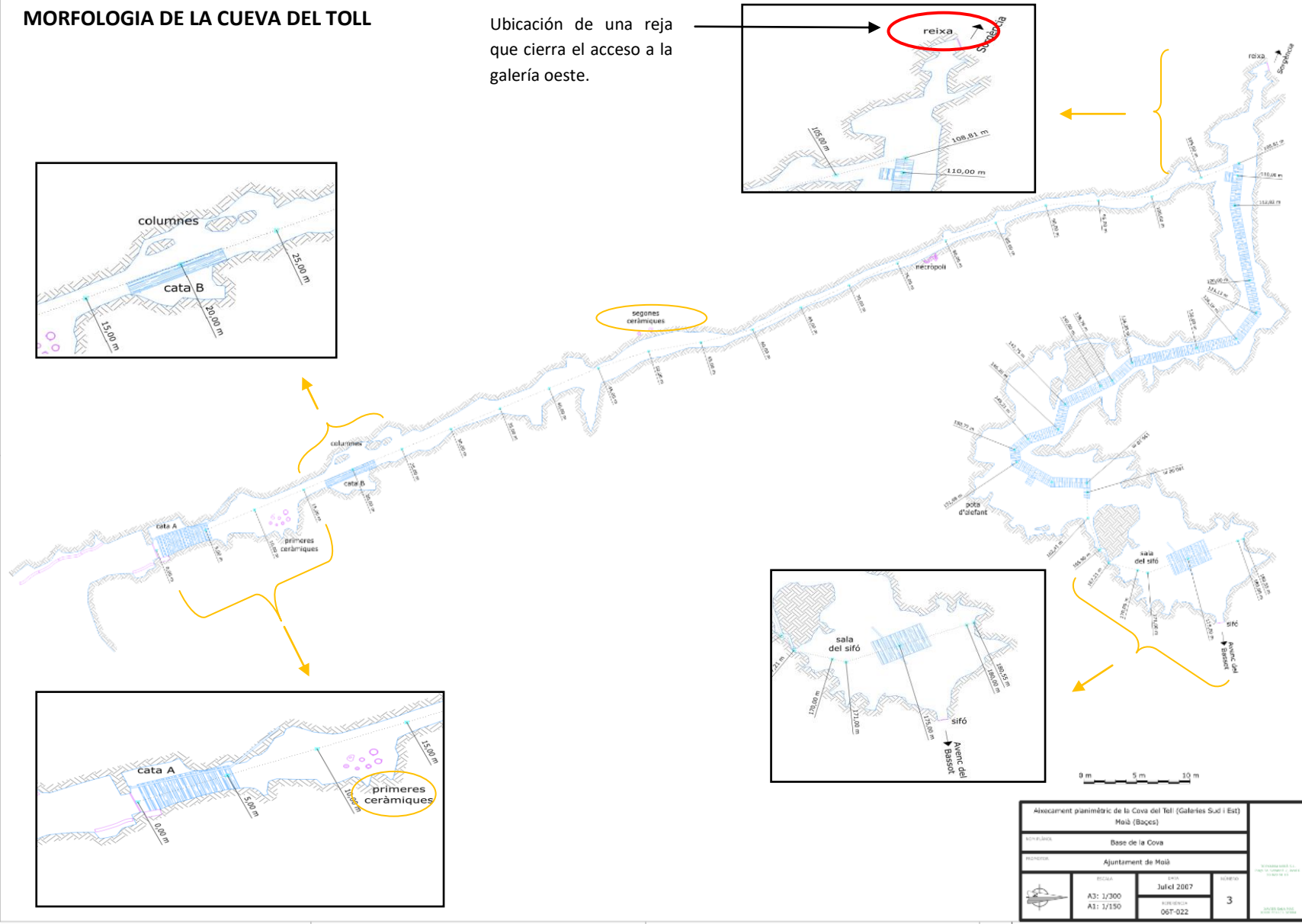


Figura 8. Morfología y hallazgos de la cueva del Toll, galería sur y este. (Sala y Ferrer, 2007)

MORFOLOGIA DE LA CUEVA DEL TOLL

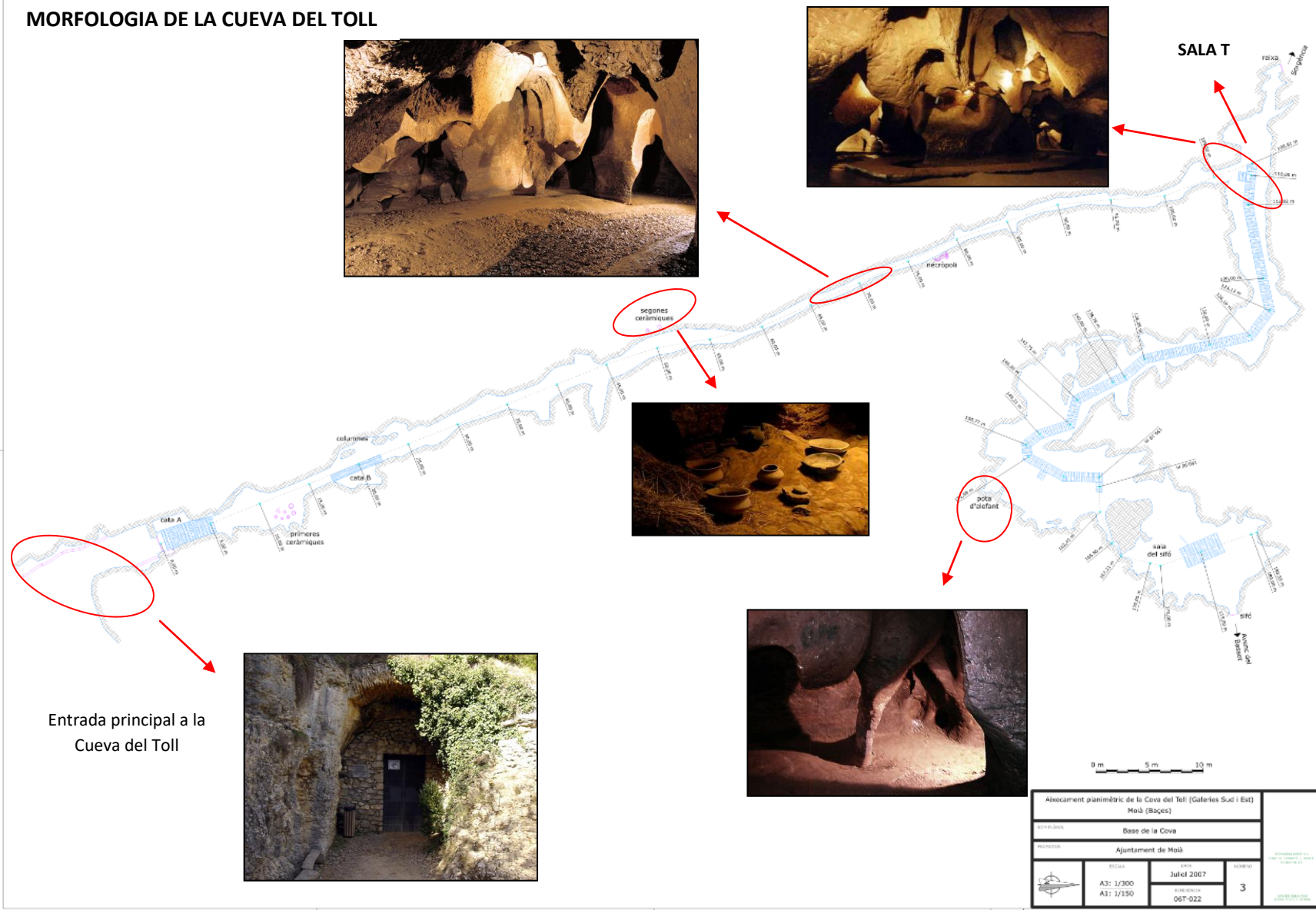
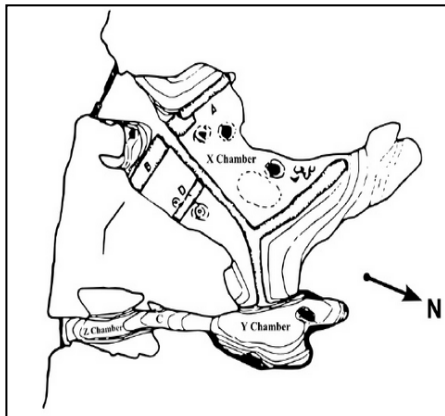


Figura 9. Imágenes de la cueva del Toll en galería sur y este. (Sala y Ferrer, 2007)

La cueva de las Toixoneres

Esta cavidad se encuentra entre las dos bocas de la cueva del Toll. Es de dimensión inferior a la cueva del Toll y su entrada principal, sala X, está abierta hacia el sur y da lugar a un recorrido de 30 metros de profundidad y entre 6 y 8 metros de ancho, figura 10.



En el fondo del pasillo, al este, se encuentra la sala Y. Y como se observa en la imagen, un estrecho conducto comunica la sala Y con otra sala muy reducida, sala Z, que también comunica con el exterior por el sur. (Fernández, 2014)

A lo largo del trabajo se explica la importancia de dichas salas.

Figura 10. Morfología de la cueva de las Toixoneres. (Fernández, 2014)

La cueva Muerta



Esta cavidad se encuentra al lado de la surgencia de la cueva del Toll y tiene 100 metros de profundidad, y como su nombre indica, es una cueva sin conexión, figura 11.

Figura 11. Entrada a la cueva Muerta, morfología lenticular debido a la erosión a lo largo de los planos de diaclasas verticales

Sima del Bassot

La sima del Bassot (Avenç del Bassot) es una pequeña sima de 12 metros de profundidad, se comunica con la galería este de la cueva del Toll mediante una galería estrecha y pequeña.

5.1. Descripción geológica

El sustrato rocoso sobre el cual se han desarrollado las cuevas consiste en calizas eocenas (calizas de Collsuspina) con alternancia de arena y lutitas. Las calizas son nodulosas, de color gris oscuro y contienen abundante fauna marina, como bivalvas, corales y foraminíferos (nummulites, discocyclina y operculina).

El conjunto de estratos se encuentra ligeramente inclinados hacia el NW (unos 10°) y presentan un sistema de diaclasas que alrededor de las cuevas del Toll forman dos sistemas conjugados de diaclasas verticales, figura 12. Estos dos sistemas son aproximadamente perpendiculares, uno con dirección N-S y el otro en dirección E-W.

Las calizas presentan una karstificación importante, irregular y controlada claramente por el sistema de diaclasas. De esta manera, la karstificación es muy importante a lo largo de las superficies de diaclasas, así como también a lo largo de los planos de estratificación. Como consecuencia se puede observar como muchas grietas siguen a estos planos de discontinuidad (Druguet, 1998).

El agua de las lluvias superficiales recogidas por las plataformas tabulares de calizas se infiltran en profundidad a través de los planos de diaclasas originando una importante circulación subterránea y la consecuente karstificación y formación de las cavidades.



Figura 12. Afloramiento de las calizas de Collsuspina, formación Tossa, que presentan dos sistemas conjugados ortogonales de diaclasas subverticales bien desarrollados, donde los estratos quedan estructurados en forma de dados. (Druguet, 1998)

5.2. Estratigrafía de las cavidades

El complejo kárstico del Toll fue explorado por los espeleólogos del Grupo de Exploraciones Subterráneas del Club Montañés, a finales de la década de los años 40, bajo la dirección de J.M.Thomas y de F. Rovira. (Bergadà, 2004)

Fue el señor Rovira Luitz, cuando se encontraba a una distancia de más de 700 metros de la entrada, en una galería lateral fuera del curso del río subterráneo, descubrió semisepultadas en el fango, unas grandes tinajas prehistóricas que demostraban una remota ocupación humana. Puesta de acuerdo, la comisaria con el Club Montañés, representado por los señores Thomas y Rovira y contando también con la colaboración del Grupo de Estudios Moyanés, precedidos todos por don Sebastián Oller, nombrado en ese momento Comisario Local de Excavaciones Arqueológicas, se planeó la exploración de la cueva desde los puntos de vista espeleológico y arqueológico. Se llegó a la conclusión de que las tinajas descubiertas no habían podido llegar a aquel lugar siguiendo el camino de los exploradores, y que por lo tanto había de existir otra entrada. Los esfuerzos del señor Oller tuvieron éxito en octubre de 1954 al descubrirse la verdadera entrada antigua, a unos 60 metros del lugar en que se encontraron los primeros vestigios de ocupación humana. (Serra, 1956)

Con la colaboración, financiación y presidencia de los trabajos de excavación por parte del Sr. Sebastià Oller, se realizaron durante los años 50 un seguido de sondeos en el Toll para conocer la potencia sedimentaria de los registros.

En la cueva del Toll los sondeos que se realizaron fueron los siguientes, figura 13:

- ➔ A y B: al lado de la boca de la cueva.
- ➔ C y D: galería sur a unos 40 metros de la boca.
- ➔ N: al final de la galería sur.
- ➔ M: intersección entre la galería sur y oeste.
- ➔ O,P, Q: galería este, en las zonas meandriformes.

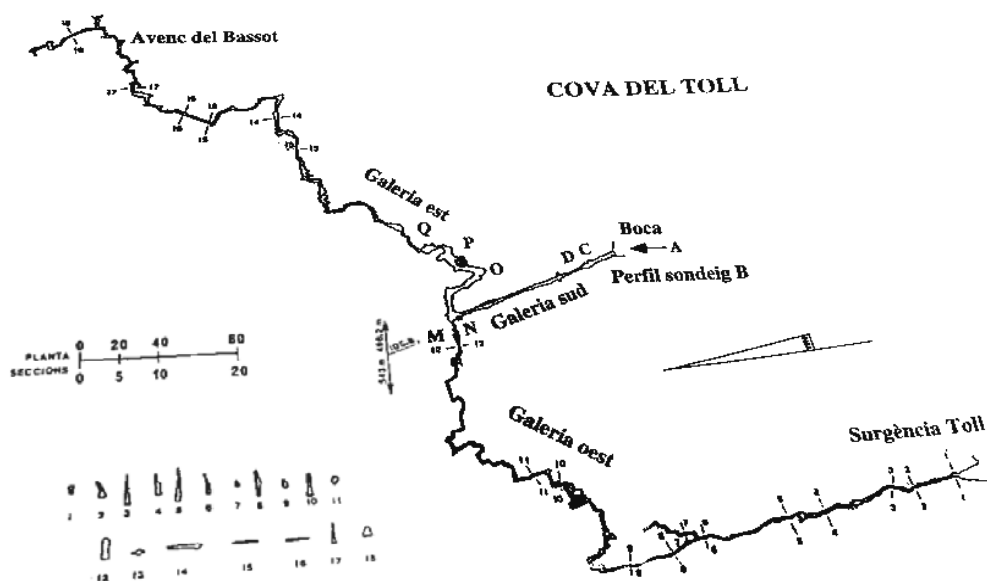
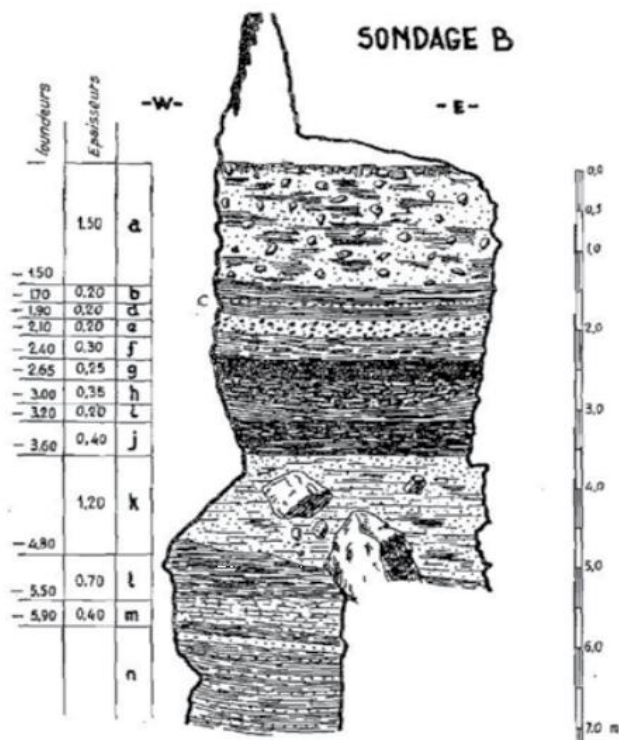


Figura 13. Ubicación de las catas realizadas en la cueva del Toll. (Cardona, 1990)

La cata B fue la más importante, figura 14, y la que aportó la secuencia del registro.



Se estableció la estratigrafía de la cavidad formada por 13 niveles:

Nivel 1 (o A): Depósito superior 0,5 – 1 m de potencia. Neolítico y Bronce.

Nivel 2 (oB): 25-30 cm. Arenas gruesas y gravas.

Por debajo (C-N): 9 metros de sedimentos pleistocenos con elevado contenido en restos faunísticos, en especial *Ursus Spelaeus*.

Figura 14. Estratigrafía original de la cata B de la cueva del Toll. (Fernández, 2014)

Esta estratigrafía determinó que la gran mayoría de los niveles, desde el nivel B al K, contenían mayormente restos de fauna del Pleistoceno Superior y ocupaciones correspondientes al Neolítico y a la edad de Bronce.

La cueva fue interpretada como un lugar de hibernación de osos, alternado con cubiles de otros carnívoros. La localización de una pieza musteriense y de algunos huesos de osos con marcas de corte, sugiere que la cavidad fue utilizada puntualmente por humanos.

En la cueva de las Toixoneres se intervino en la sala X y se realizaron tres catas: A, B y D. La secuencia estratigráfica que se obtuvo de los perfiles de las catas B y D, se identificaron 15 niveles sedimentarios que contenían también restos de fauna del Pleistoceno Superior y actividad prehistóricas recientes. A finales de los años sesenta e inicios de los setenta aparecieron algunos trabajos relacionado con cavidades (Ripoll y Lumley, 1965; Masrera, 1968; Butzer y Freeman, 1968; Castellví 1970; Serra y Albert, 1973) que permitieron ver la importancia del registro. Con estas aportaciones se identificaron 9 niveles sedimentarios en la cata B, figura 15.

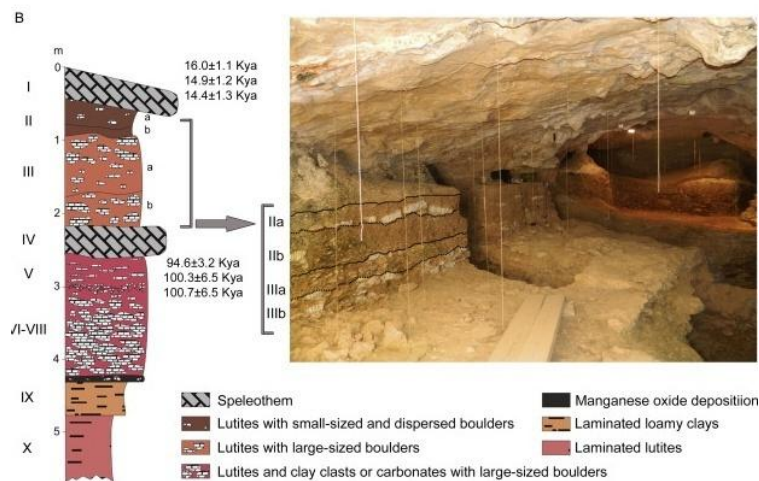


Figura 15. Estratigrafía de la cata B de la cueva de las Toixoneres.

(Sánchez et al., 2016)

Nivel I: corresponde a los restos de la Edad de Bronce y del Neolítico, habiéndose documentado enterramientos en la sala Z. Actualmente este nivel ha desaparecido y se desconoce la localización de estos restos. (Bergadà, 2004)

Nivel II: correspondiente a la plancha estalagmítica que separa ambos niveles y en cuya parte superior se localizó un hogar lavado por el agua y restos adecuados a un cubil de hienas.

Nivel III: restos de fauna y pieza de industria misterriense.

La cueva fue interpretada como un cubil de hienas con esporádicos eventos de ocupación humana. (Fernández, 2014)

Gracias a esta estratigrafía realizada en la cueva de las Toixoneres se pudo establecer una relación estratigráfica con la cueva del Toll.

5.3. Inundaciones en la cueva del Toll

En el año 1981, figura 16, ocurrió la primera inundación importante en la galería sur de la cueva del Toll. Esta inundación, por un lado, provocó la intervención de urgencia con tal de recuperar el material que había quedado al descubierto, afectando esencialmente los niveles superiores del Neolítico. Pero por otro lado, la anegación del agua dentro de la cavidad también provocó que se hallaran más materiales como consecuencia de la fricción del agua con los materiales rocosos del interior de la cueva.



A partir de aquel año se iniciaron las visitas dentro de la cueva, de forma esporádica y previa concertación con el Sr. Joan Surroca.

Figura 16. Emergencia de agua, inundación del 1981, por la entrada principal de la cueva del Toll. (Fàbrega, 2008)

Durante años no hubo episodios de nuevas inundaciones, hasta el 30 de Noviembre de 2014. Como la vez anterior, el agua volvió a salir con fuerza por la puerta principal de la galería sur, a una altura de unos 80 centímetros. La cueva se empezó a inundar a partir de un agujero de 40 cm de alto por 1 metro de ancho localizado cerca de la trompa de elefante, originado en la inundación del año 1981. Esta crecida que inundó la cueva depositó una terraza de gravas de unos $10 m^3$, mismo lugar de donde procedía el agua y la acumulación de 40 centímetros de barro en toda la galería este. Durante este episodio, la sima del Bassot (Avenc del Bassot) no actuó. Los días anteriores a la inundación, se pudo apreciar que el nivel del agua en la sima oscilaba entre 1.5 y 3 metros de profundidad respecto la superficie.

A partir de este día, 30 de Noviembre de 2014, la cueva del Toll se ha inundado con más frecuencia de lo normal, como se detallará más adelante.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología utilizada para este proyecto se divide en diferentes partes:

- Bibliográfica

Recopilación de información bibliográfica en el Museo de Rafael Casanovas, Moià, sobre las cuevas del Toll, sistema kárstico que lo origina, descubrimiento de las cavidades e inundaciones acontecidas desde su hallazgo hasta la actualidad.

Adquisición de material hidrológico del 2012 sobre fuentes naturales ubicadas en los alrededores de Moià, en el que ha permitido trabajar con los resultados físico-químicos adquiridos. Estos resultados se han representado en diagramas de barras con el programa Excel.

- Material y trabajo cartográfico

Obtención por una parte de los catálogos de información geocientífica de la IGME, hoja 363 (Manresa) y hoja 364 (La Garriga). Y por otra parte, de los mapas topográficos de la zona de estudio mediante la página del ICC (Institut Cartogràfic de Catalunya).

Visualización de la litología predominante mediante diferentes visitas realizadas en las Cuevas del Toll, en el que se ha medido la dirección de capa y buzamiento de diferentes puntos.

Proyección de la cartografía trabajada en un mapa cartográfico mediante el programa Global Mapper.

- Material y trabajo hidrológico

- Hidrología en las cuevas del Toll.

- ➔ Adquisición de resultados físico-químicos de muestras de agua en la cueva del Toll, desde el 2004 hasta la actualidad, debido a la presencia de agua dentro de la cavidad. Estas muestras han sido analizadas por la empresa IBERCOMPOUND S.L., donde los parámetros analizados son: color, pH, conductividad eléctrica, nitratos, nitritos, bicarbonatos y dureza. Con esta información, se ha representado estos resultados en diferentes diagramas de barras realizados con el programa Excel, permitiendo observar si existe una relación en las propiedades entre dichas muestras y por otro lado con los resultados de las propiedades de las fuentes naturales de 2012.

- ➔ Proyección mediante el programa Global Mapper de los cursos de agua presentes en la zona de estudio. Previamente se ha visitado la zona de trabajo para determinar la dirección de los torrentes y de la surgencia del Toll.

- ➔ Medición de la altura de lámina de agua que sale de la surgencia del Toll, mediante la instalación de una regleta calibrada ubicada en dicha surgencia. Esta medición se ha realizado todos los jueves durante los meses de Marzo y Abril de 2017. Paralelamente a partir de la información obtenida de la página AEMet (Agencia Estatal de Meteorología), se ha adquirido las precipitaciones acontecidas durante los mismos meses para ver si existe una relación entre el agua que sale de la surgencia y precipitaciones acontecidas en el mismo periodo.
- Hidrología en los alrededores de las Cuevas del Toll.
 - ➔ Obtención de datos físico-químicos de dos puntos ubicados en los alrededores de las cuevas del Toll para el 2017. El primer punto trabajado es la riera de la Golarda, riera que transcurre en la misma formación geológica y que se encuentra a unos 10 kilómetros de las cuevas del Toll. Esta información ha sido proporcionada a partir de la Agencia Catalana de Aguas (ACA). El otro punto trabajado es el pozo de Perers, pozo ubicado en el municipio de Moià. Los datos de este pozo han sido obtenidos a partir del Ayuntamiento de Moià. Después de realizar los cálculos iónicos pertinentes se han representados estos resultados en el diagrama hidroquímico de Piper, con el objetivo de establecer los posibles orígenes de los dos puntos trabajados y la identificación de los principales procesos geoquímicos. Posteriormente, se ha trabajado con el diagrama hidroquímico de Schoeller-Berkaloff que permite clasificar los diferentes tipos de aguas. Y por último, se han representados los resultados en el diagrama de Stiff donde este diagrama permite visualizar por un lado los diferentes tipos de agua, dependiendo de la configuración que se obtenga y de manera simultánea, permite dar una idea del grado de mineralización.

7. TRABAJOS PRÉVIOS

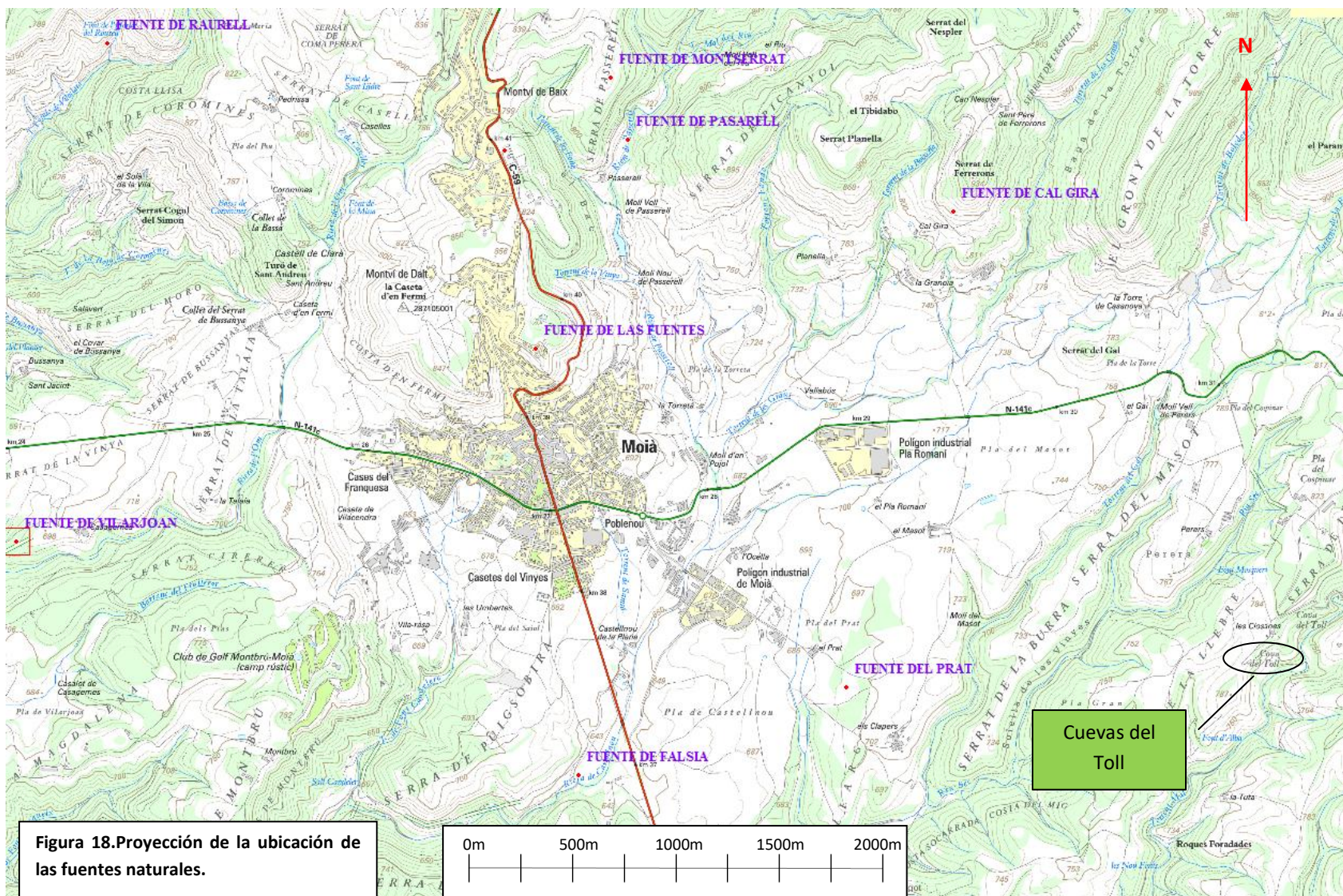
- Análisis de fuentes naturales

El material sobre los análisis de fuentes naturales se ha obtenido a partir de un trabajo de investigación realizado por Quintana y Vives (2012) en los meses de Julio, Agosto, Septiembre y Octubre de 2012. En este trabajo se han analizado parámetros físico-químicos de 11 de las 35 fuentes naturales cartografiadas en Moià, debido a que muchas de las cuales están abandonadas o ya no emerge agua. Las propiedades analizadas y representadas en diagramas de barras son el pH, nitritos (NO_2^-), fosfatos (PO_4^{3-}), nitratos (NO_3^-), cloruros (Cl^-), amonio (NH_4^+) y conductividad eléctrica.

En este proyecto, debido a la ubicación de las fuentes se recoge la información de 8 de las fuentes analizadas del trabajo previo. En la figura 17 se detalla el nombre de las 8 fuentes trabajadas para este proyecto, coordenadas geográficas y altitudes respecto al nivel del mar. En la figura 18 se plasma la ubicación de dichas fuentes.

FUENTE	ALTITUD (metros)	COORDENADAS	
		X	Y
1. F. de la Falsia	660	41°47'46 N	002°06'00 E
2. F. de Cal Gira	775	41°49'26 N	002°07'27 E
3. F. del Raurell	678	41°49'54 N	002°04'07 E
4. F. de Montserrat	810	41°49'49 N	002°06'06 E
5. F. de Pasarell	662	41°49'38 N	002°06'10 E
6. F. del Prat	652	41°48'02 N	002°07'03 E
7. F. de Vilarjoan	680	41°48'26 N	002°03'47 E
8. F. de las Fuentes	804	41°49'01 N	002°05'49 E

Figura 17. Coordenadas y altitud de las fuentes analizadas en Moià



En las siguientes figuras se detallan los resultados obtenidos de cloruros, nitritos, nitratos, fosfatos, amonio y conductividad eléctrica para las 8 fuentes utilizando la media aritmética, media obtenida a partir de los resultados adquiridos durante los meses de Julio, Agosto, Septiembre y Octubre. Para el pH la medida ha sido única durante los 4 meses de investigación. Para poder ver los resultados en datos numéricos, ver Anexos.

En la figura 19 se muestra el pH para cada fuente analizada. Se puede observar que el agua de éstas fuentes tiene un valor de pH comprendido entre 7.5 y 8.5, rango estable según la normativa que es entre 6.0 y 9.0. Las aguas de las fuentes tienen un valor de pH básico.

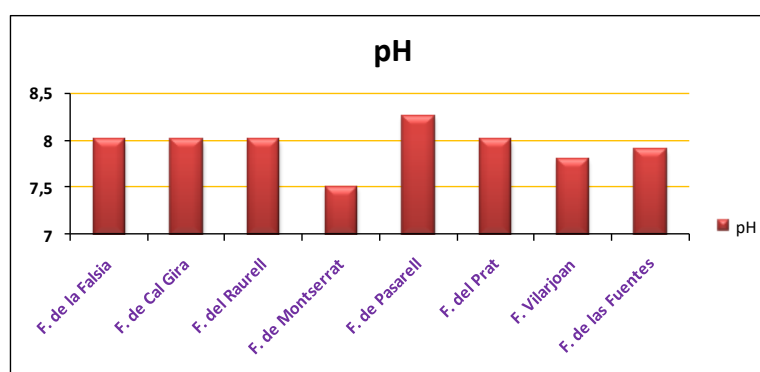


Figura 19. Resultados del pH en las fuentes analizadas. Modificado de Quintana y Vives (2012)

En la figura 20 se muestra los valores medios obtenidos de la conductividad eléctrica durante los meses de Julio, Agosto, Septiembre y Octubre. No hay ninguna fuente que sobrepase el valor reglamentario (2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$). La fuente que tiene un valor más alto es la de Vilarjoan, con una media de 1280 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El resto de fuentes tienen valores entre 600 y 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La fuente con la conductividad más baja es la de la Falsia.

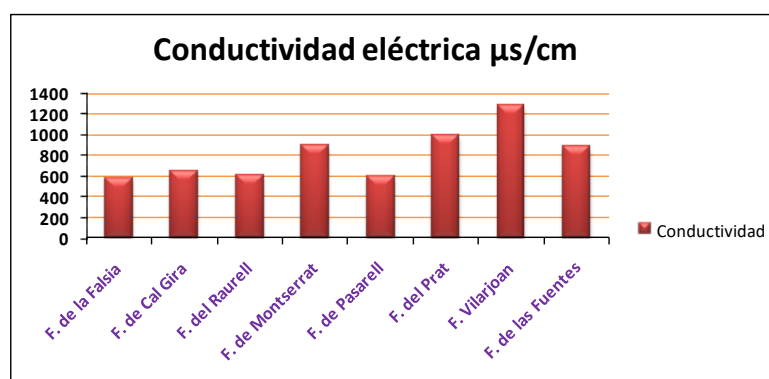


Figura 20. Conductividad eléctrica de las fuentes analizadas. Modificado de Quintana y Vives (2012)

En la figura 21 se detalla la media de cloruros para las fuentes. Todas las fuentes tienen valores inferiores a 250 mg/l, valor mínimo reglamentario para su potabilidad. La fuente de Montserrat es la que tiene un valor más alto, 94.25 mg/L, pero sin ser un valor perjudicial. Como en el caso anterior, la fuente de la Falsia es la que tiene el valor más bajo.

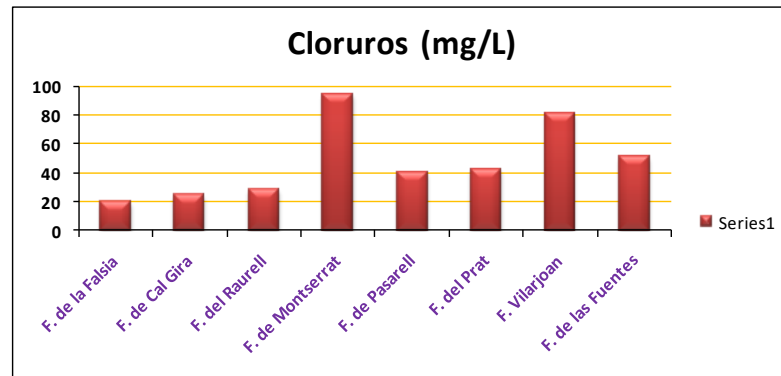


Figura 21. Valores medios de cloruros para las fuentes analizadas. Modificado de Quintana y Vives (2012)

En la figura 22 se muestra la media obtenida de fosfatos para las fuentes trabajadas. Se puede observar que las fuentes que contienen fosfatos, son la de Montserrat, Raurell y Cal Gira. Con valores bajos de 2.5 mg/L las dos primeras y de 1.25 mg/L para la última.

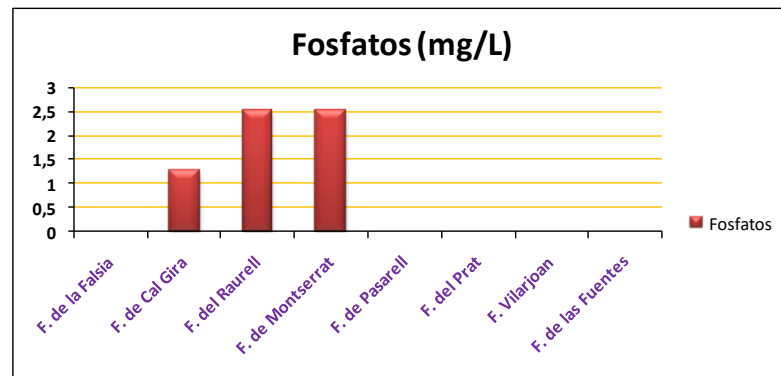


Figura 22. Valores medios de fosfatos para las fuentes analizadas. Modificado de Quintana y Vives (2012)

En la figura 23 se detalla la media obtenida de nitritos para las fuentes trabajadas. Las fuentes con presencia de nitritos son la de Montserrat, Falsia y Vilarjoan con valores inferiores a 0.5 mg/L. Si superaran este valor, el agua se considera tóxica.

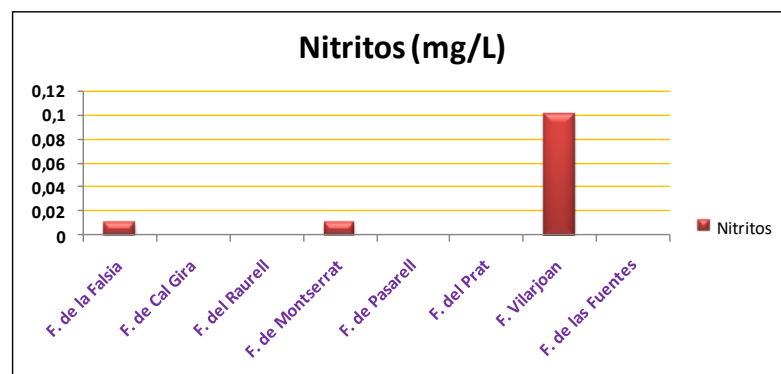


Figura 23. Valores medios de nitritos para las fuentes analizadas. Modificado de Quintana y Vives (2012)

En la figura 24 se detalla la media de nitratos para las fuentes trabajadas. La fuente de Vilarjoan es la que tiene el valor más elevado, 57.3 mg/L, sobrepasando el valor reglamentario que es de 50 mg/L. Otras fuentes como la de Montserrat, Cal Gira y la de las Fuentes también contienen nitratos, pero concentraciones relativamente bajas. En el resto de fuentes el valor es mínimo.

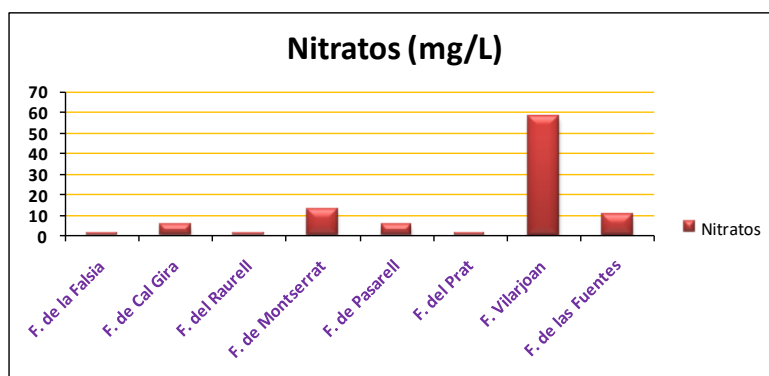


Figura 24. Valores medios de nitratos para las fuentes analizadas. Modificado de Quintana y Vives (2012)

En la figura 25 se muestra la media de amonio para las fuentes analizadas. Se observa que todas las fuentes tienen la misma concentración de amonio, 0.05 mg/L.

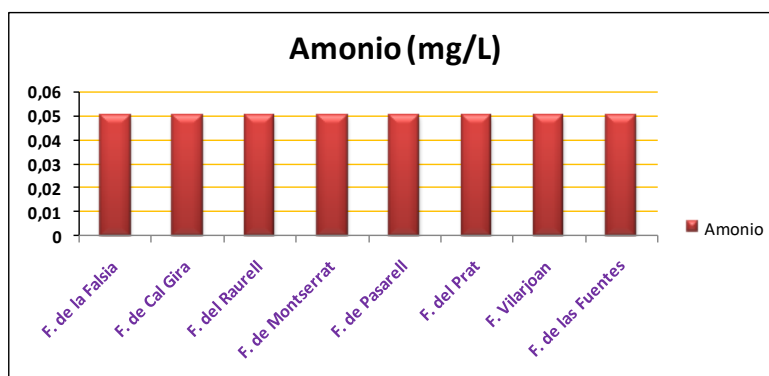


Figura 25. Valores medios de amonio para las fuentes analizadas. Modificado de Quintana y Vives (2012)

8. RESULTADOS

8.1. Inundaciones acontecidas

En la figura 26 se resume las inundaciones ocurridas a partir de la inundación del 30 de Noviembre de 2014. Se distinguen dos tipos de inundaciones: leves y cueva anegada. La primera hace referencia a la presencia de agua dentro de la cavidad suficientemente importante como para suspender todas las visitas guiadas previstas durante los 3 días consecutivos a la inundación. El agua siempre está presente en las dos galerías, pero siempre emerge en la zona conocida como trompa de elefante. Y el segundo tipo de inundación, cueva anegada, hace alusión a una importante capa de agua de varios centímetros de altitud. También se detalla en la figura 26 si en el momento de las inundaciones la sima intervino o no. Y por último se detallan algunas anotaciones relacionadas con las inundaciones.

FECHA	INUNDACIÓN		SIMA		OBSERVACIONES
	Cueva anegada	Leve	Actúa	No Actúa	
04/11/2015		✓		✓	Se escucha circular agua por la Sima del Bassot.
22/03/2016		✓	-	-	Sale agua por la entrada principal de la cueva.
06/04/2016		✓	✓		Sima del Bassot actúa.
14/10/2016		✓		✓	Sima completamente seca.
24/11/2016		✓	-	-	No se obtiene datos de la actividad del Bassot.
14/02/2017		✓	-	-	No se obtiene datos de la actividad del Bassot.
25/03/2017	✓		-	-	No se obtiene datos de la actividad del Bassot.

Figura 26. Datos obtenidos de las nuevas inundaciones a partir del 14 de Noviembre de 2014.

Durante la realización de este proyecto, las cuevas se volvieron a inundar el 25 de marzo de 2017. El agua volvió a salir por la entrada principal de la galería sur, a una altura de 25 centímetros y en este caso la sima del Bassot no actuó, aunque circulaba agua por su interior. La surgencia del Toll estaba completamente activa, la cantidad de agua que salía por la surgencia era elevada, llegando a anegar varios tramos transitables.

En las siguientes figuras, 27 y 28, se detallan 14 cortes transversales correspondientes a diferentes secciones de la galería sur y este en la cueva del Toll. Con estos cortes transversales se ha plasmado las inundaciones del 30 de Noviembre de 2014 y 25 de Marzo de 2017, intentado respetar los datos obtenidos sobre dichas anegaciones.

Hace falta mencionar la comunicación existente al final del tramo de la galería este con la sima del Bassot, pero cabe destacar que el agua que empezó a inundar la cueva en ambos casos procedía cerca de la trompa de elefante.

Inundación del 30 de Noviembre de 2014 -> El agua salía por la entrada principal a una altura de 80 centímetros.



Figura 27. Cortes transversals en la cueva del Toll. En lila, altura del agua en la inundación del 30 de Noviembre 2014. (Sala y Ferrer, 2007)

Inundación del 25 de Marzo de 2017 -> El agua salía por la entrada principal a una altura de 25 centímetros.

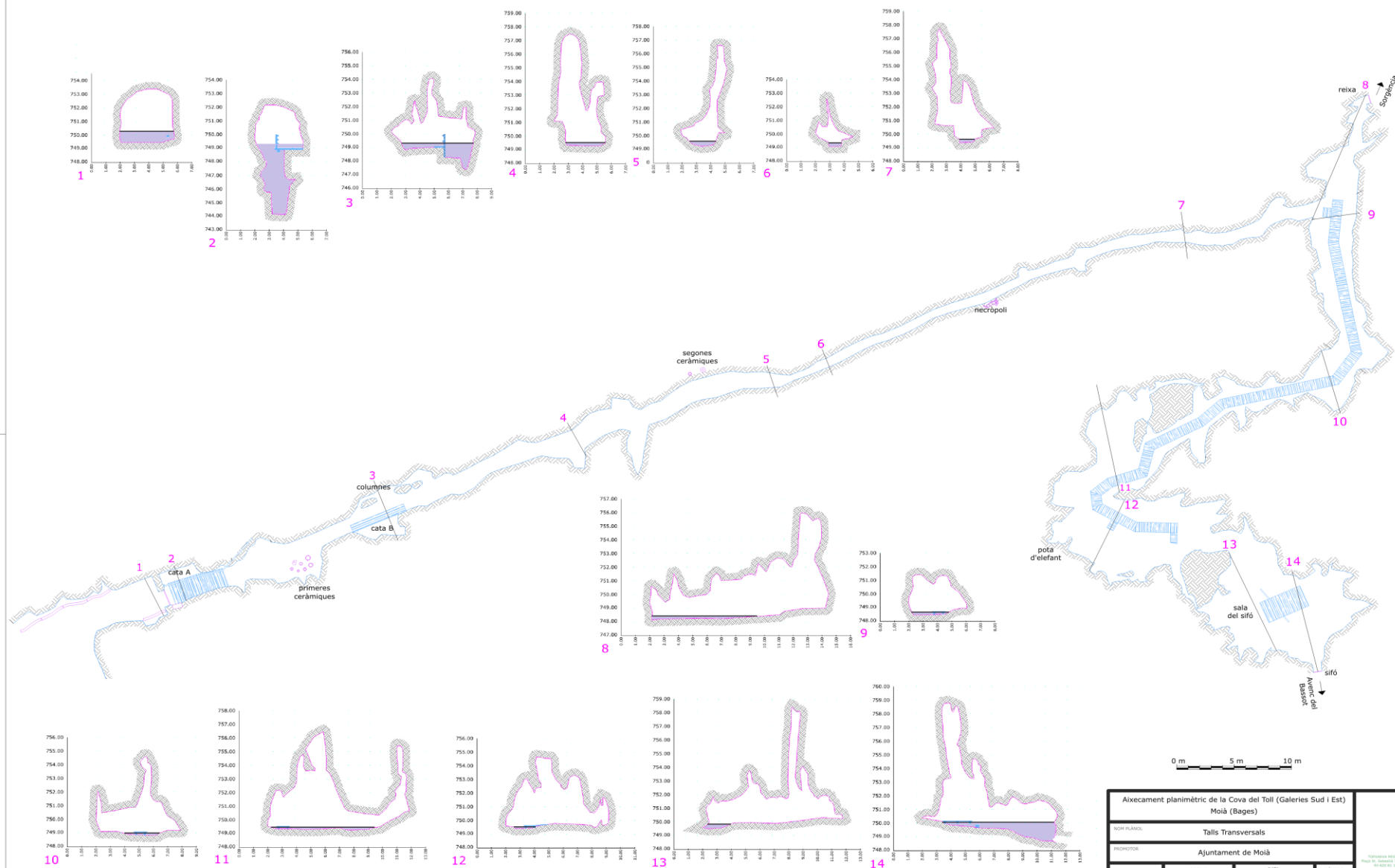


Figura 28. Cortes transversals en la cova del Toll. En lila, altura del aigua en la inundació del 25 de Març de 2017. (Sala y Ferrer, 2007)

8.2. Cartografía en las cuevas del Toll

En la figura 29 se ha representado la cartografía realizada en los alrededores de las cuevas del Toll. Se puede observar que la litología predominante es la formación Tossa, calizas de Colluspina. Destacan por ser grandes estratos de calizas de carácter arrecifal con corales y algas, predominantes sobretudo en la parte superior a la entrada de la cueva del Toll y en la surgencia del Toll. Existen zonas de difícil acceso, como el tramo al otro lado del torrente del Mal, donde la cartografía realizada ha sido visual por ser fácilmente identificable esta formación. Se puede observar que las cavidades que forman el complejo del Toll, formadas por esta litología, están localizadas en un valle, donde por encima de estas hay una potente capa, de unos 60 metros de la formación Tossa. Esta gran capa de calizas, separada en tramos debido a la construcción de la carretera de acceso a las Cuevas del Toll, caracterizada por su alta porosidad permite deducir que en periodos de lluvia funcione como 'colador' y sea una de las posibles causas que provoquen la anegación de la cavidad principal, aunque aún no se ha podido demostrar.

Existe un tramo, al final de la carretera que conduce a las cuevas, donde estas calizas pasan de manera gradual a ser más laminadas con alternancia de areniscas, sin existir un límite claro de diferenciación entre las dos litologías. A esta litología se le ha dado el nombre de calizas laminadas por ser diferentes, aunque con características similares a la formación principal.

Por otro lado, en varios tramos del sendero que permite visualizar las diferentes cavidades del complejo del Toll, hay tramos en que existe un contacto litológico entre las calizas de Colluspina y un material fino de color ocre, descritas en la figura 29 como limos. Esta litología presenta unos códulos de caliza, grandes en la base (entre unos 8-10 cm de diámetro) y más pequeños en el techo envueltos de este material ocre. Estos limos pertenecen al suelo del Cuaternario. En límites claros entre estas dos formaciones se ha podido medir la dirección de capa y buzamiento correspondiente.

En la figura 30 se recopila las mediciones efectuadas, correspondientes a los puntos destacados de la figura 29.

8.3. Hidrología en las cuevas del Toll

8.3.1. Hidrología del Toll.

Para entender la circulación de agua existente en la zona del Toll, se ha analizado la dirección del torrente, así como la dirección de la surgencia. En la figura 31 se detalla los cursos de agua existentes en la zona del Toll.

Las flechas de color azul marino muestran la dirección que toma el torrente del Mal, como era de esperar, el curso que toma el torrente es de trayectoria descendiente, procedente del torrente del Bassot. Existe un embalse próximo a las cuevas del Toll, encajado en las calizas y con huecos presentes en su alrededor que también podría servir de conexión subterránea entre las cuevas y el embalse, pero que aún no se ha investigado.

Las flechas de color rojo muestran la dirección del agua en la surgencia del Toll. Hay que destacar que el agua de la surgencia forma parte del río subterráneo que circula desde la galería este, donde comunica con la sima del Bassot, hasta la galería oeste, galería accesible únicamente por un grupo de espeleología y que finalmente sale a la superficie y finaliza en el torrente del Mal. El agua que sale de dicha surgencia se choca de manera descendiente con el torrente del Mal. A la salida de la surgencia, próximo a la cueva Muerta hay instalada una regleta a ras del suelo del canal, que permite medir la altura de agua que sale de la surgencia.

Existe una pequeña zona canalizada, flechas de color azul claro, que el curso del agua acaba en el torrente del Mal. Esta canalización se construyó porque en ese tramo de tierra emergía agua, impidiendo el paso por el camino tanto a pie como en vehículo. Después de varios intentos por saber la procedencia del agua, no se ha podido determinar su origen.

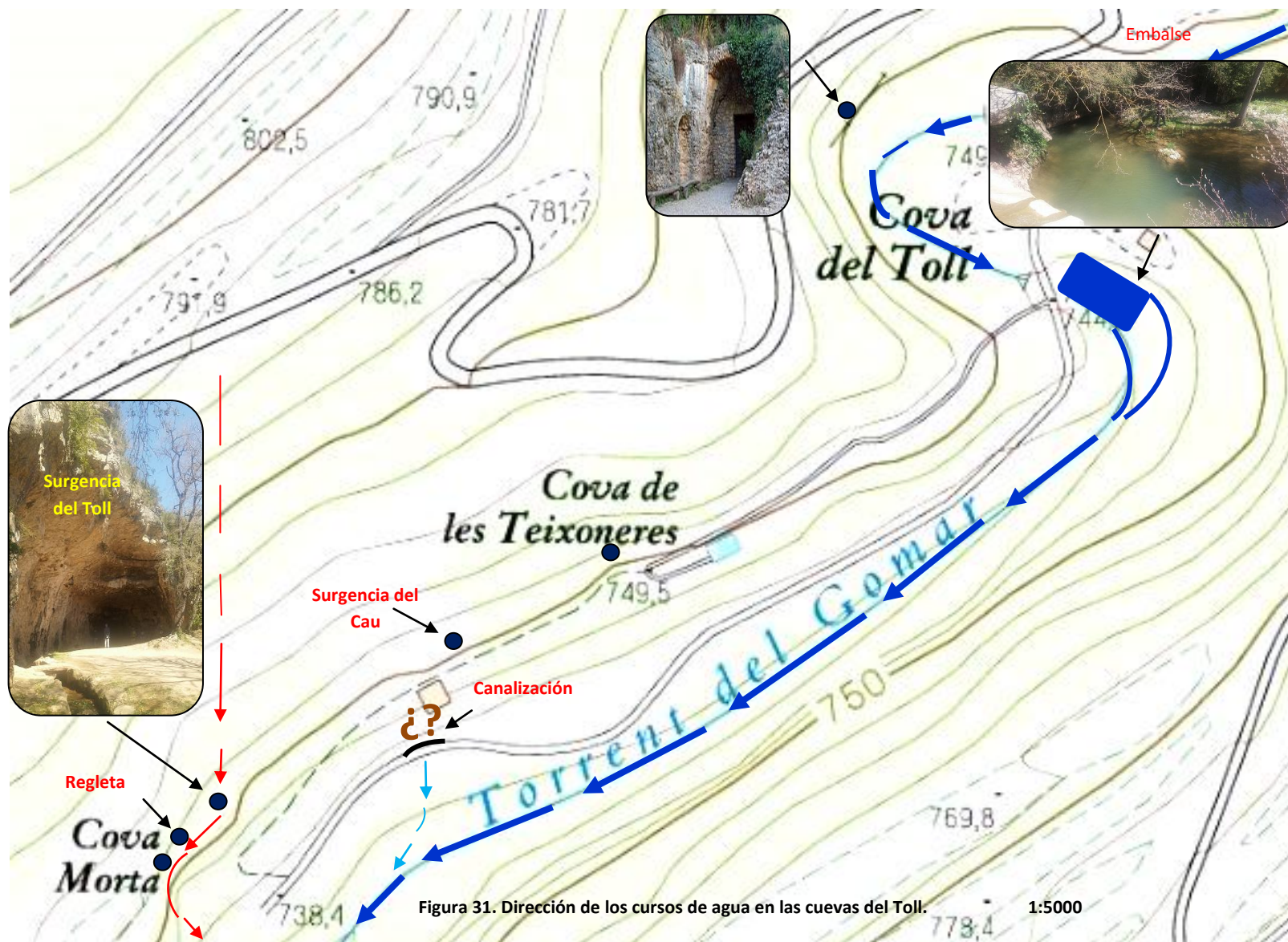


Figura 31. Dirección de los cursos de agua en las cuevas del Toll.

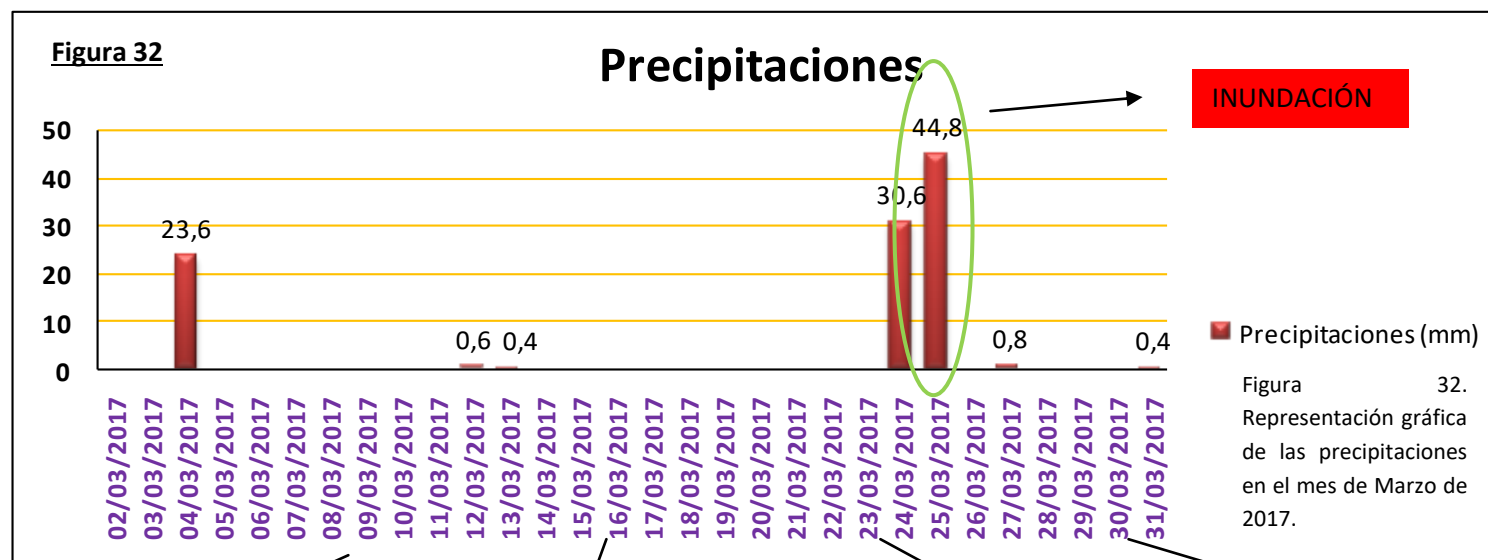
1:5000

- Medición del agua de la surgencia en relación a las precipitaciones

Con la instalación de una regleta calibrada colocada en la surgencia del Toll se ha medido la altura del agua que sale de dicha surgencia. Esto ha permitido verificar si existe alguna relación de proporcionalidad entre el agua de la surgencia y las precipitaciones acontecidas durante el periodo de medición.

Las mediciones se han realizado todos los jueves entre el 2 de Marzo hasta el 30 de Abril de 2017, debido a que son los meses con más alta pluviosidad.

En las siguientes figuras 32 y 33 se representan las precipitaciones acontecidas en los meses de Marzo y Abril de 2017. Estas figuras van seguidas de fotos realizadas en los días de evaluación para verificar dicha relación.



Día 9/3



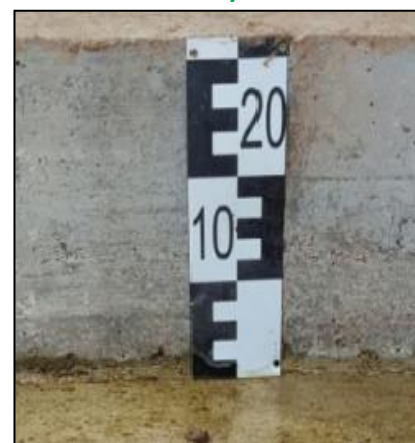
Medición: 10 cm

Día 16/3



Medición: 2 cm

Día 23/3

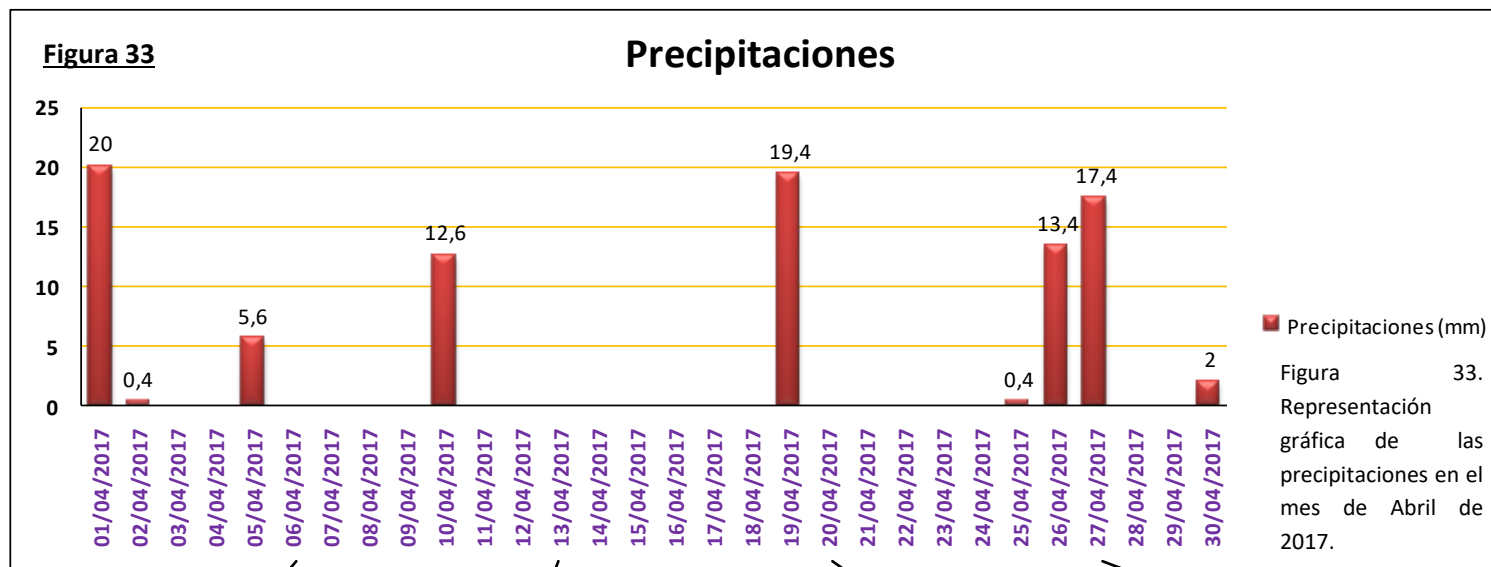


Medición: > 1 mm

Día 30/3



Medición: 11 cm



Día 6/4



Medición: 6,3 cm

Día 13/4



Medición 2,5cm

Día 20/4



Medición: < 1mm

Día 27/4



Medición: 4 cm

8.3.2. Análisis de aguas en las cuevas del Toll

Desde el 2004 se han analizado las propiedades físico-químicas de muestras de agua recogidas en la cueva del Toll. Para este proyecto, los resultados recopilados son a partir del 2012 hasta la actualidad. En estos análisis los parámetros analizados son: color, pH, conductividad eléctrica, dureza, bicarbonatos, nitritos y nitratos.

Un total de 27 muestras han sido recogidas durante este periodo, extraídas en dos puntos distintos dentro de la cueva del Toll. Unas hacen referencia al agua recogida en la zona de la trompa de elefante y las otras son muestras recogidas en la sala T (intersección entre la galería sur-este, figura 9). Existe una muestra recogida en la zona sifonada de la galería este. En la figura 34 se indica la fecha, lugar de recogida y el color del líquido extraído.

Fecha	Lugar de recogida	Color del agua
2012		
26/4/2012	Sala T	Incolora
31/5/2012	Sala T	Incolora
2013		
06/03/2013	Sala T	Marrón
15/03/2013	Sala T	Incolora
13/04/2013	Sala T	Incolora
02/05/2013	Sala T	Incolora
03/06/2013	Sala T	Incolora
13/09/2013	Sala T	Incolora
21/11/2013	Sala T	Incolora
2014		
22/1/2014	Sala T	Incolora
6/6/2014	Sala T	Incolora
1/10/2014	Sala T	Incolora
19/12/2014	Trompa	Incolora
2015		
24/3/2015	Trompa	Incolora
31/3/2015	Sala T	Incolora
4/11/2015	Sala T	Marrón
2016		
22/3/2016	Sala T	Incolora
6/4/2016	Sala T	Incolora
29/9/2016	Trompa	Ligeramente marrón
14/10/2016	Trompa	Incolora
24/11/2016	Sala T	Incolora
2017		
25/1/2017	Sala T	Incolora
31/1/2017	Trompa	Incolora
22/2/2017	Trompa	Incolora
14/2/2017	Sala T	Ligeramente marrón
24/2/2017	Meandros	Ligeramente marrón
8/3/2017	Sala T	Incolora

Figura 34. Características de las muestras recogidas. En color rojo hace referencia a las inundaciones correspondientes a la figura 26.

En las siguientes figuras se representa por un lado todas las propiedades analizadas correspondientes a todos los días en que se han recogido las muestras de agua en la cavidad. Y por otro lado, se detallan las mismas propiedades analizadas pero relacionadas a las inundaciones correspondientes a la figura 26.

Cabe mencionar que en todas las muestras recogidas los niveles de nitritos son inferiores al 0,02 con lo que no se representa ninguna figura con este indicador.

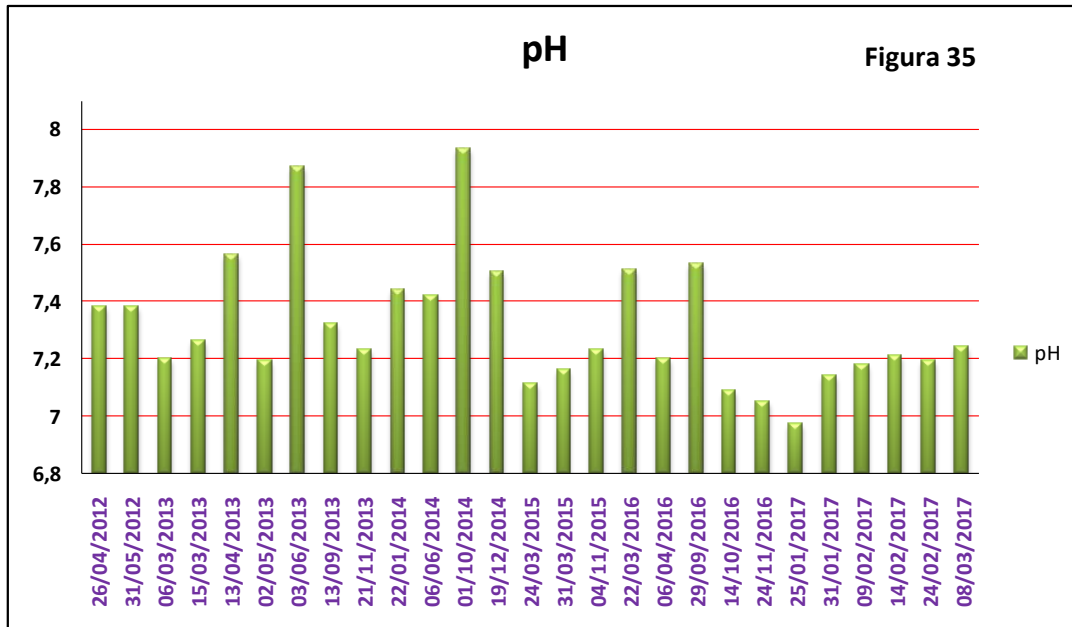


Figura 35. Representación del pH de las muestras de agua recogidas dentro de la cavidad. El pH máximo con 7.93 corresponde al día 1/10/2014 y el mínimo de 6.97 correspondiente al día 25/01/2017. Los valores obtenidos demuestran como regla general que el agua tiene carácter básico.

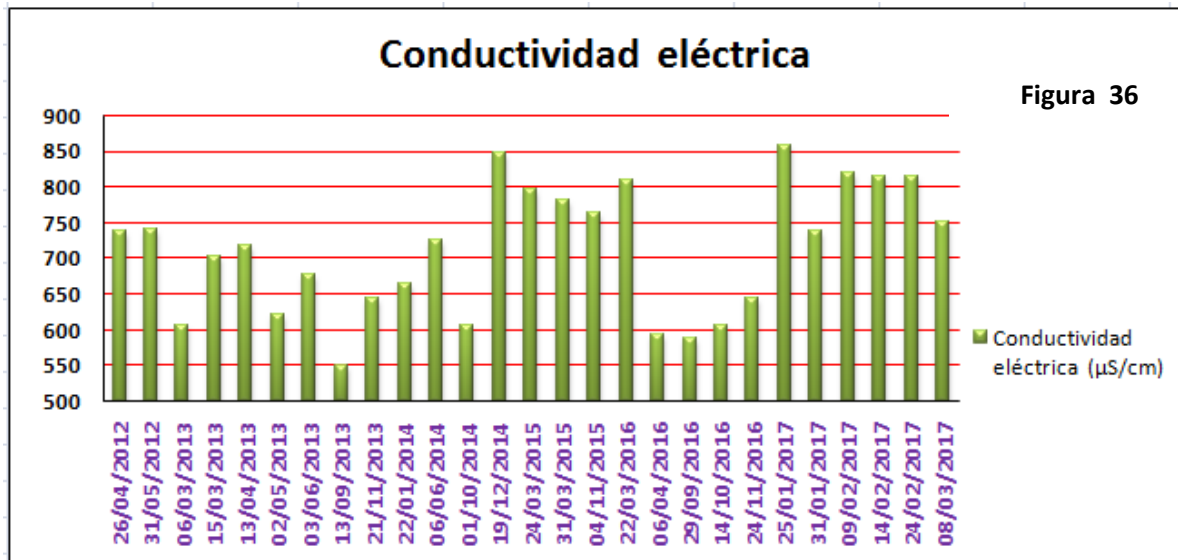


Figura 36. Representación de los resultados obtenidos de la conductividad eléctrica de las muestras recogidas dentro de la cavidad. La máxima corresponde al día 25/01/2017 y la mínima al día 13/09/2013.

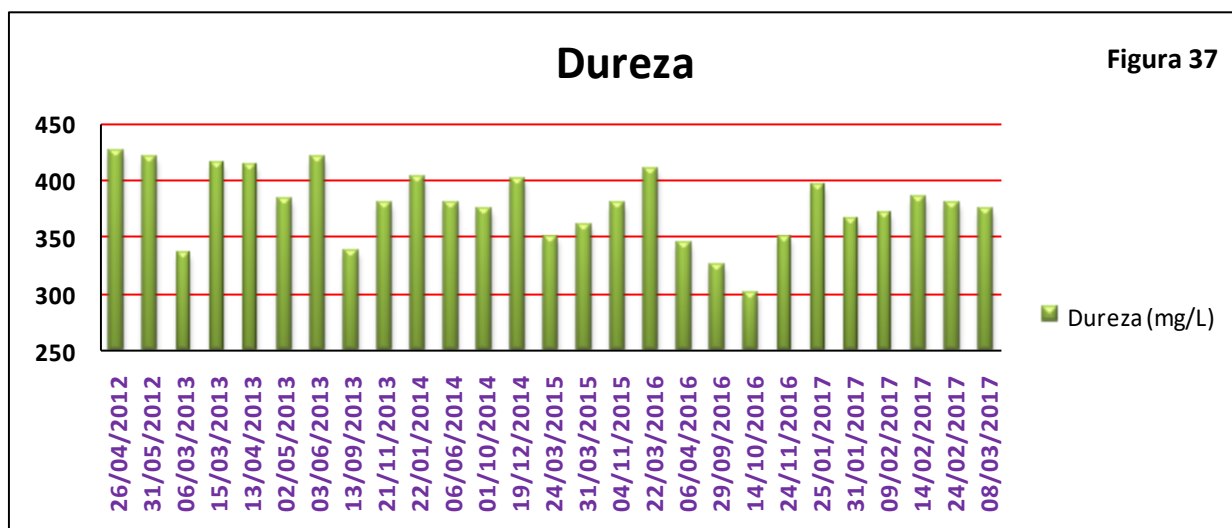


Figura 37. Representación de la dureza de las muestras recogidas dentro de la cavidad. Se consideran aguas del factor dureza 'dura' ya que los valores de concentración superan o son iguales a 300 mg/L. Esto informa de la elevada concentración de compuestos minerales, en particular sales de magnesio y calcio.

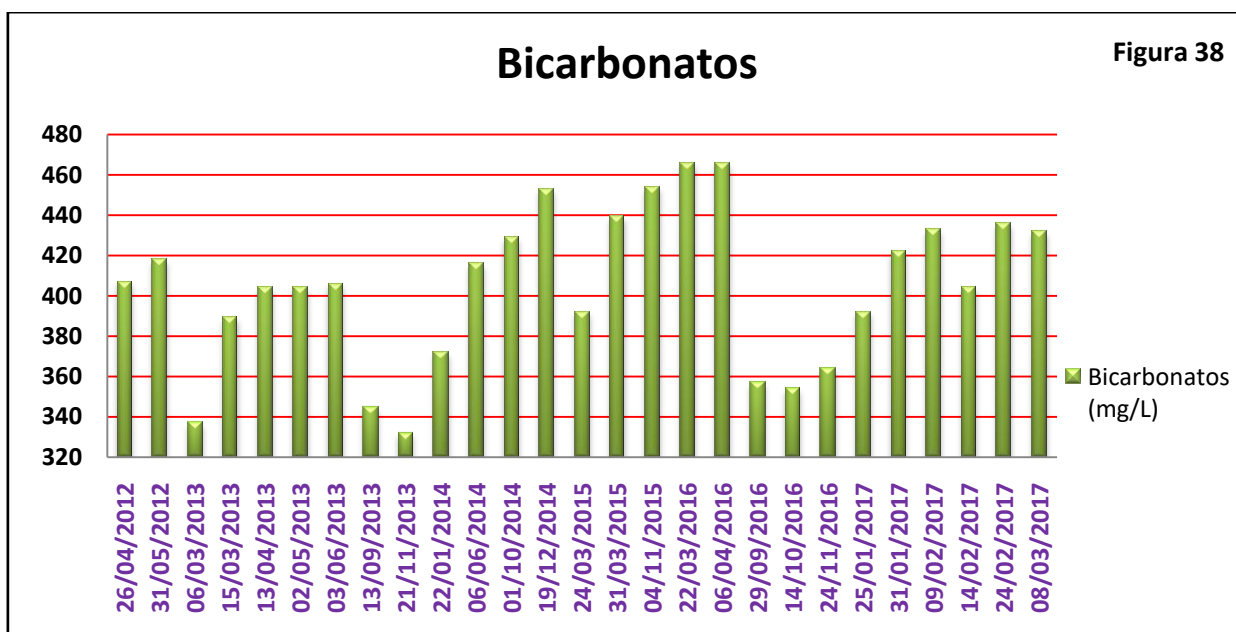


Figura 38. Representación de los resultados obtenidos de la concentración de bicarbonatos en las muestras de agua recogidas. Este indicador simboliza la alcalinidad del agua, es decir, cantidad de hidrogeno (iones ácidos) en el agua. Los bicarbonatos se forman fácilmente por la acción del dióxido de carbono atmosférico sobre los materiales constitutivos de los suelos en presencia de agua.

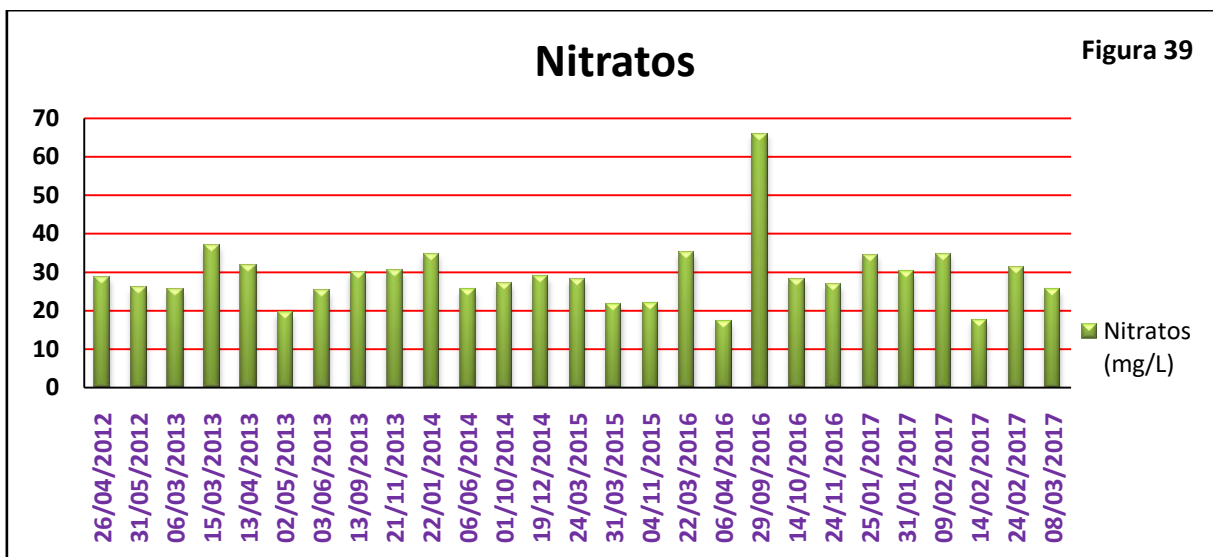


Figura 39. Representación de la concentración de nitratos presente en las muestras de agua. Valor máximo de 66 mg/L referente al día 29/09/2016 y mínimo de 17,2 mg/L el día 06/04/2016.

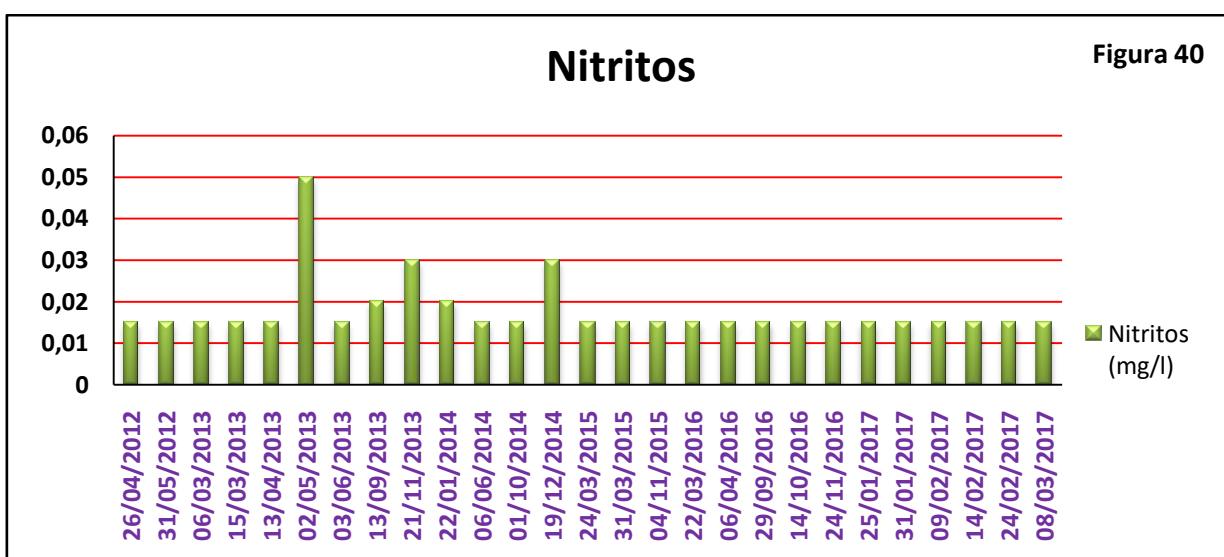


Figura 40. Representación de la concentración de nitritos presentes en las muestras de agua. Valor máximo de 0.05 mg/L en día 02/05/2103.

En el apartado Anexos, se representan los valores numéricos de las figuras ilustradas en este apartado.

Resultados de los indicadores analizados que hacen referencia a las inundaciones importantes de la cavidad correspondientes a los días representados en la figura 26

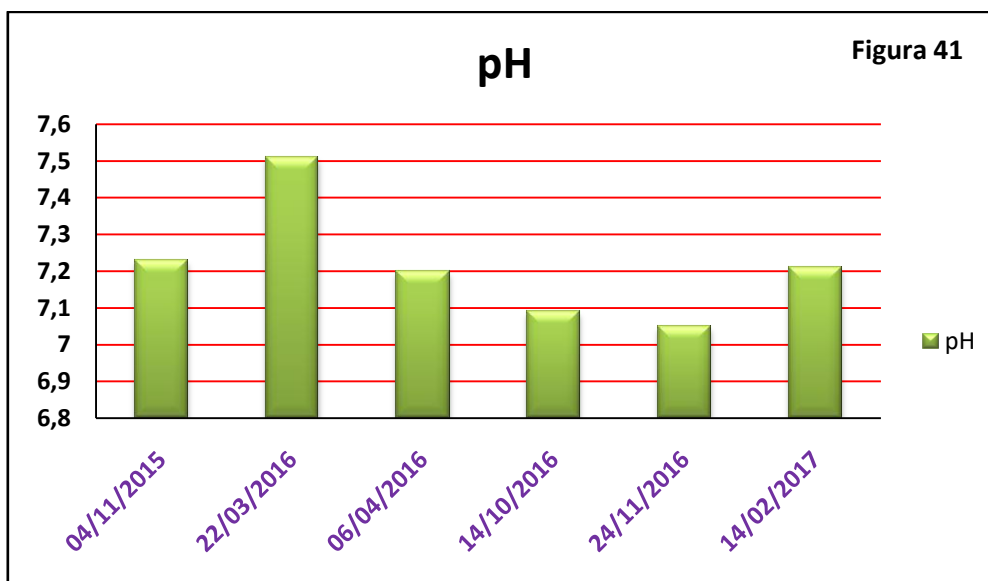


Figura 41. Representación del pH en los días correspondientes a las inundaciones entre el 04/11/2015 y el 14/02/2017.

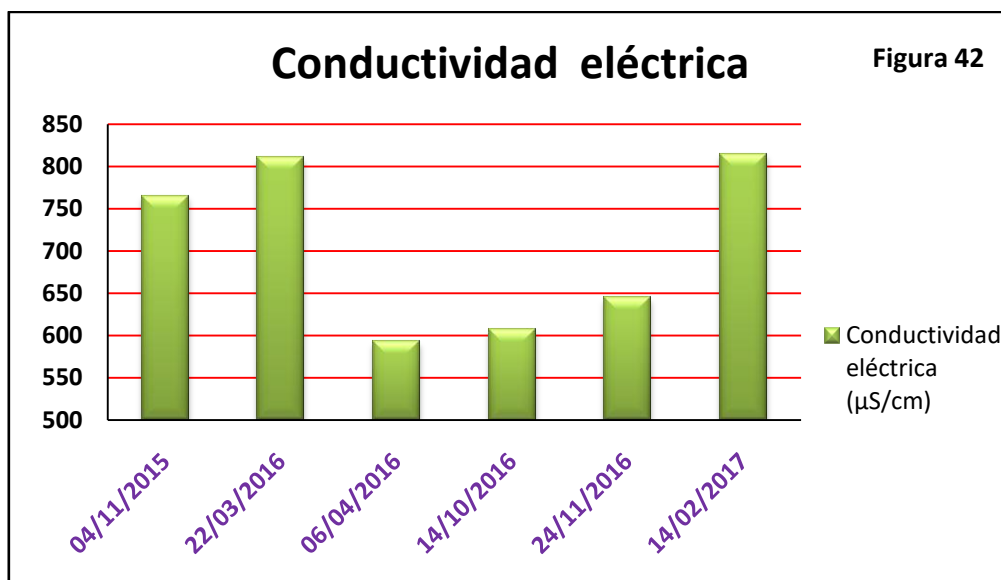


Figura 42 . Representación de la conductividad eléctrica en los días correspondientes a las inundaciones consideradas leves entre el 04/11/2015 y el 14/02/2017.

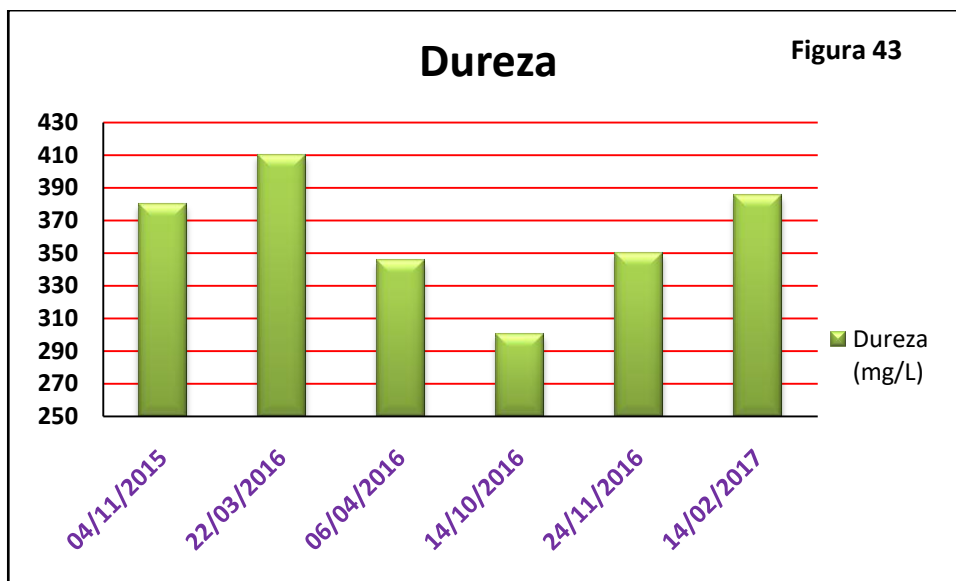


Figura 43. Representación de la dureza en los días correspondientes a las inundaciones consideradas leves entre el 04/11/2015 y el 14/02/2017.

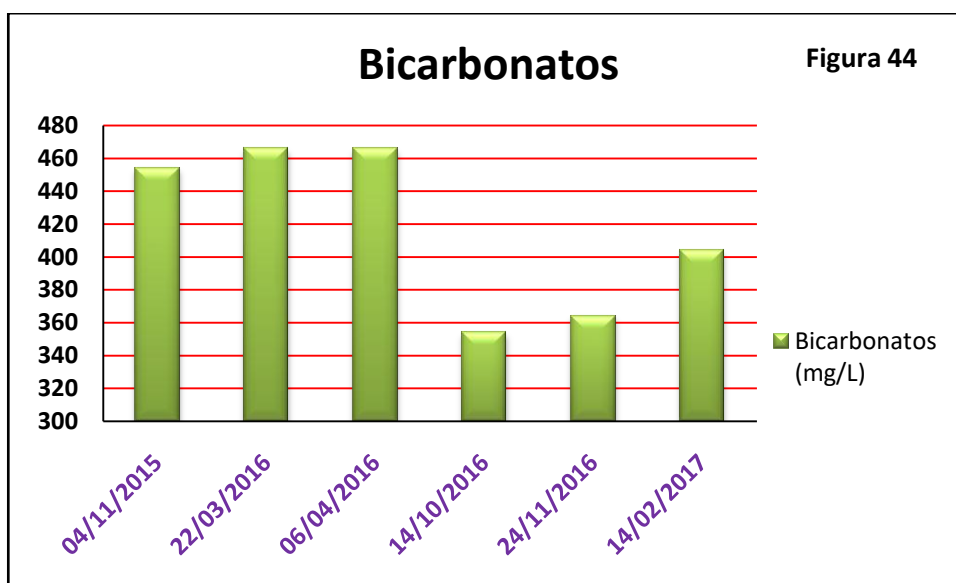


Figura 44. Representación de la concentración de bicarbonatos en los días correspondientes a las inundaciones consideradas leves entre el 04/11/2015 y el 14/02/2017.

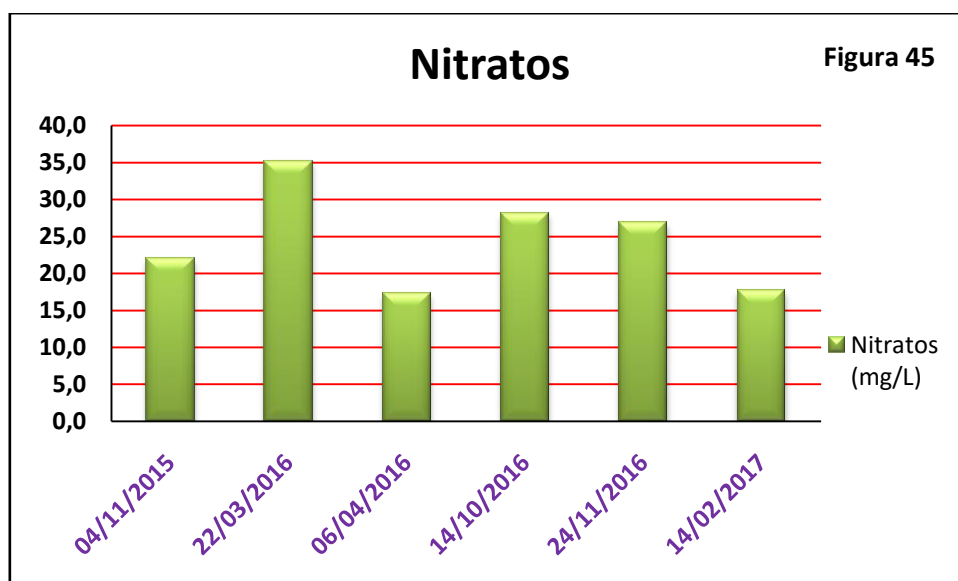


Figura 45. Representación de la concentración de nitratos en los días correspondientes a las inundaciones consideradas leves entre el 04/11/2015 y el 14/02/2017.

Los resultados de nitritos para estos días son todos iguales a un valor de 0,015.

En las siguientes figuras se representa mediante la media aritmética los indicadores en común de los resultados obtenidos para las fuentes naturales y para las muestras de agua recogidas y analizadas en el 2012.

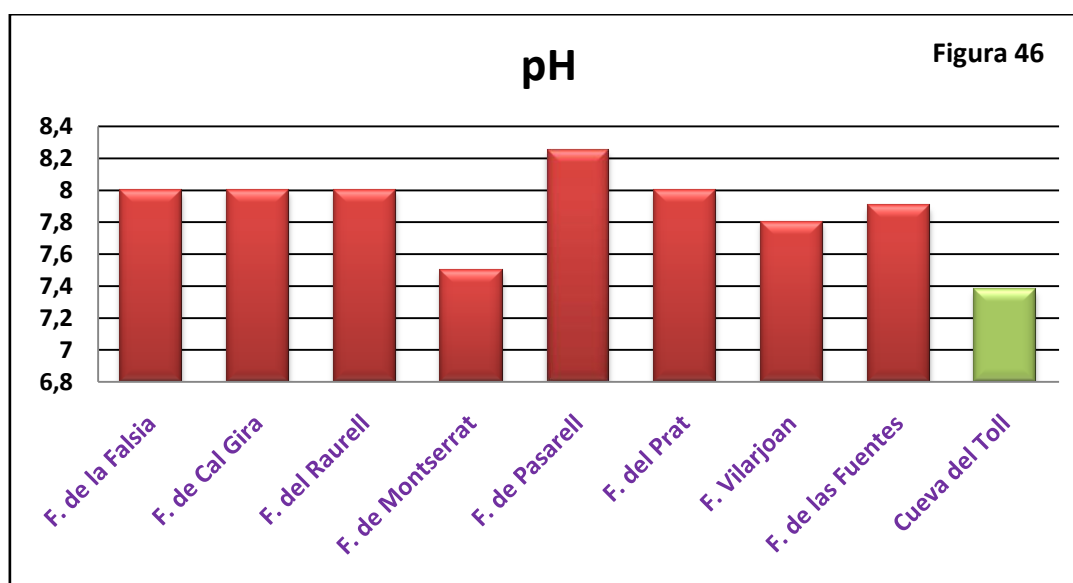


Figura 46. Representación de los valores del pH. En el caso de las fuentes naturales se ha obtenido a partir de la media aritmética durante los meses de Julio, Agosto, Septiembre y Octubre de 2012. Para las muestras analizadas dentro de la cavidad el resultado es la media obtenida a partir de los valores obtenidos en el mismo año.

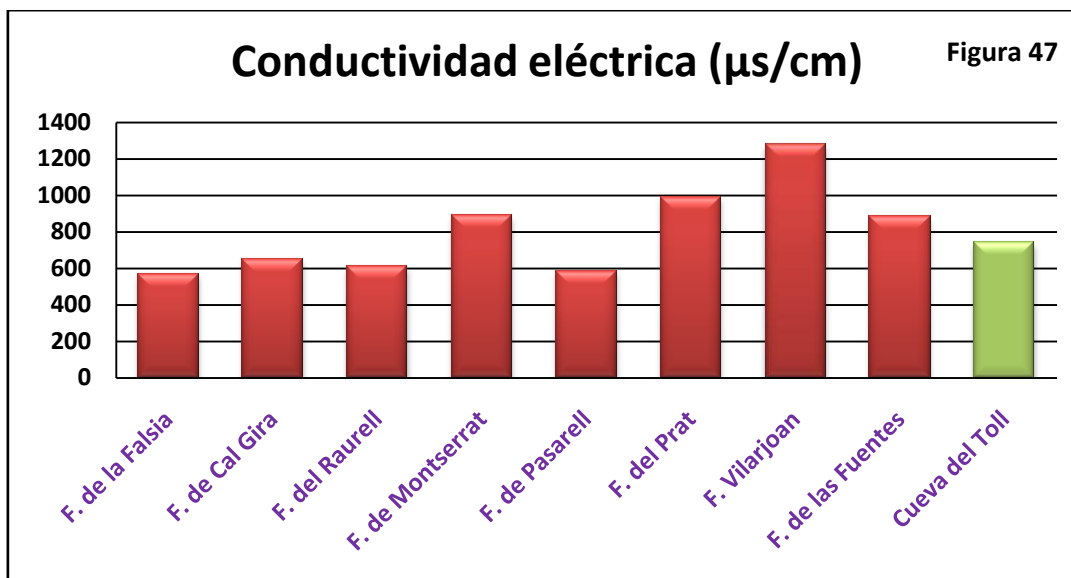


Figura 47. Representación de los valores de la conductividad eléctrica. En el caso de las fuentes naturales se ha obtenido a partir de la media aritmética durante los meses de Julio, Agosto, Septiembre y Octubre de 2012. Para las muestras analizadas dentro de la cavidad el resultado es la media obtenida a partir de los valores obtenidos en el mismo año.

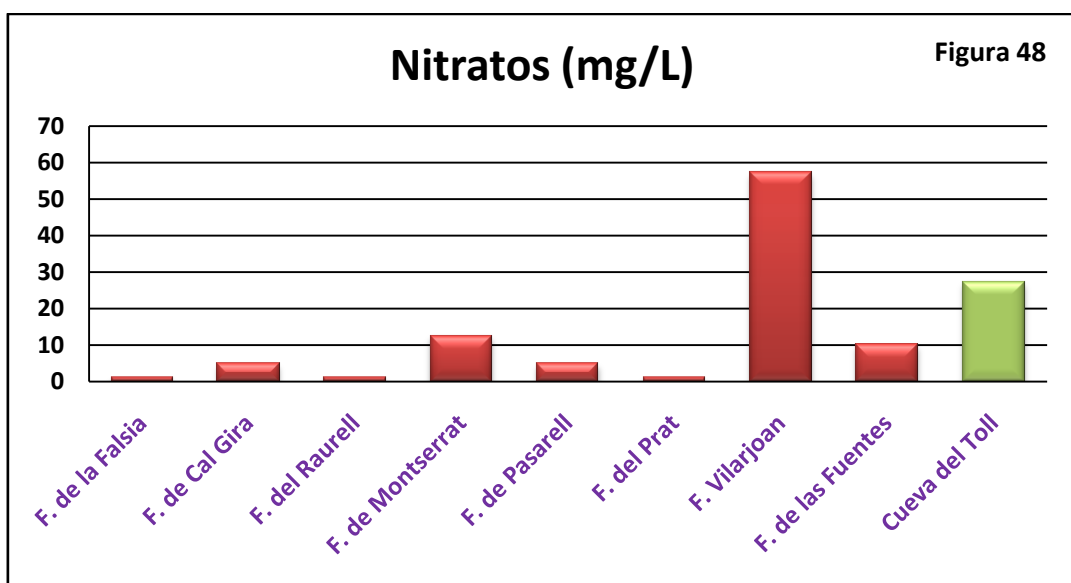


Figura 48. Representación de los valores que hace referencia a la concentración de nitratos. En el caso de las fuentes naturales se ha obtenido a partir de la media aritmética durante los meses de Julio, Agosto, Septiembre y Octubre de 2012. Para las muestras analizadas dentro de la cavidad el resultado es la media obtenida a partir de los valores obtenidos en el mismo año.

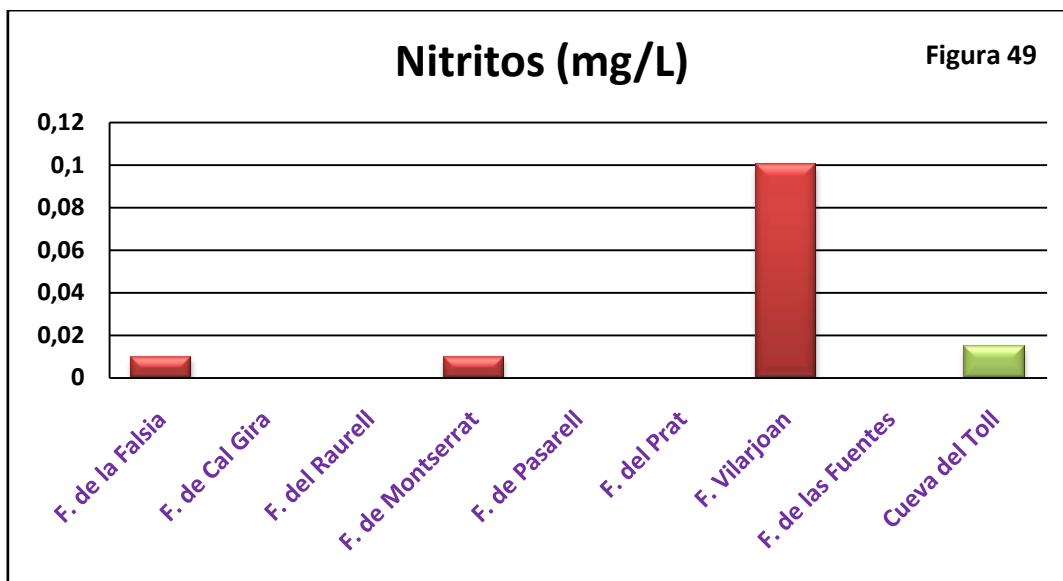


Figura 49. Representación de los valores que hace referencia a la concentración de nitritos. En el caso de las fuentes naturales se ha obtenido a partir de la media aritmética durante los meses de Julio, Agosto, Septiembre y Octubre de 2012. Para las muestras analizadas dentro de la cavidad el resultado es la media obtenida a partir de los valores obtenidos en el mismo año

8.4. Estudio hidrológico en la riera de la Golarda y pozo de Perers.

El estudio hidrológico realizado está referenciado en dos puntos ubicados en los alrededores de las cuevas del Toll. Estos dos puntos tienen en común la poca distancia a la que se encuentran de la zona de estudio y que están localizados bajo la misma formación geológica dominante, calizas de Collsuspina. En la figura 50 se representan los dos puntos de interés en un mapa topográfico, representado con el Global Mapper, en el que se especifica las coordenadas correspondientes al punto de extracción de la muestra y la altitud a la que se encuentran. En la primera columna de la figura 51, se detallan los aniones y cationes mayoritarios con los que se ha trabajado para este análisis hidroquímico. Las concentraciones obtenidas están expresadas en mg/L. Posteriormente y como se observa en las diferentes filas de la figura, las concentraciones pasan, mediante los cálculos pertinentes, a meq/L y finalmente a tanto por ciento. Como se observa en la figura 51, las primeras cinco columnas hacen referencia a las diferentes muestras recogidas en distintos días en la riera de la Golarda. La sexta columna es la media obtenida a partir de los valores de las cinco columnas anteriores. Y la última columna, son los datos para el pozo de Perers. Cada columna está representada con un color diferente, correlación necesaria para relacionar cada muestra con un color distinto y la identificación en los diagramas hidroquímicos posteriores.

A continuación se representan los resultados en el diagrama de Piper. Este diagrama es primordial ya que permite visualizar la química de las muestras de agua obtenidas. Está formado por 3 piezas, dos diagramas terciarios en la parte inferior donde el de la izquierda hace referencia a la concentración en tanto por ciento de los cationes y el de la derecha a los aniones. La parte central del diagrama de Piper es la combinación de ambos. En la figura 52 se interpreta los resultados para las cinco muestras de la riera de la Golarda y el pozo de Perers. Y en la figura 53, se representan los resultados conseguidos para el pozo de Perers y la media obtenida para la riera de la Golarda.

Otro tipo de representación en la que se ha detallado los resultados es el diagrama hidroquímico de Schoeller-Berkaloff. Este diagrama está formado por varias semirrectas o columnas verticales paralelas y divididas en escala logarítmica y con el mismo módulo. A cada semirrecta se le asocia un catión y un anión, excepto la primera columna en el que se representa la unidad de medida que es meq/L. El resto de columnas tienen como unidad mg/l. La primera columna está dividida desde 0.1 hasta 1000 (meq/L) y las demás se configuran de tal manera que el peso equivalente de cada ión coincida con el 1 de la primera columna, cuya escala es de meq/L. Esto provoca que las divisiones queden desplazadas. Este diagrama es útil ya que permite estudiar la evolución temporal de diferentes muestras de un mismo punto y permite clasificar los diferentes tipos de agua. Como en el caso anterior, la figura 54 se representa en este diagrama los resultados para las diferentes muestras de agua y en la figura 55 se ha interpretado los resultados solo para la media obtenida a partir de las cinco muestras de la riera de la Golarda y para la muestra del pozo de Perers.

Por último, se representan los valores en el diagrama de Stiff. Este diagrama formado por cuatro ejes paralelos horizontales que se extienden a ambos lados de un eje vertical simbolizado con 0. Los iones se trazan en miliequivalentes por litros. En el lado izquierdo del eje cero se trazan las concentraciones de los cationes y en el lado derecho la de los aniones. Este tipo de diagrama permite visualizar por un lado los diferentes tipos de agua, dependiendo de la configuración que se obtenga y de manera simultánea, permite dar una idea del grado de mineralización. En la figura 56 se representan los dos diagramas de Stiff, uno correspondiente a los resultados para el pozo de Perers y el otro para la media obtenida en la riera de la Golarda.

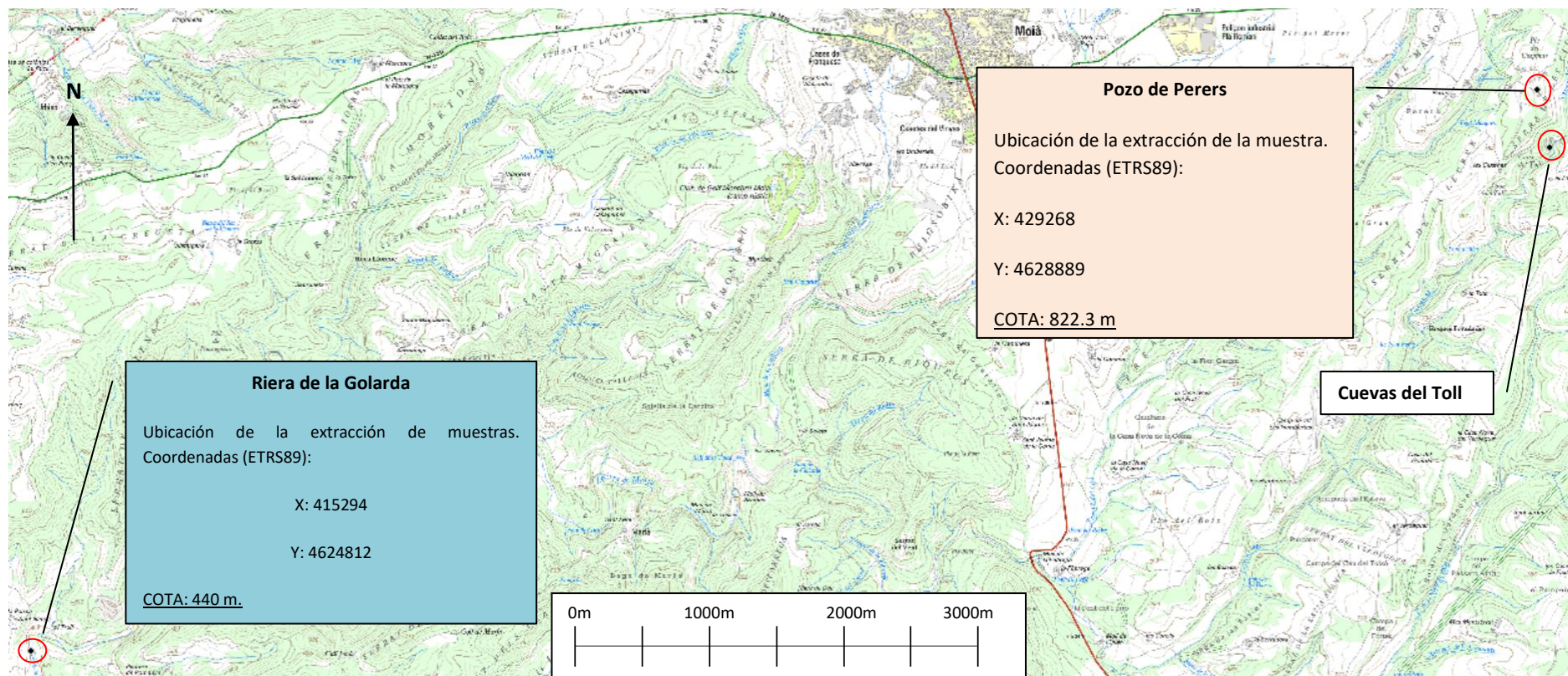
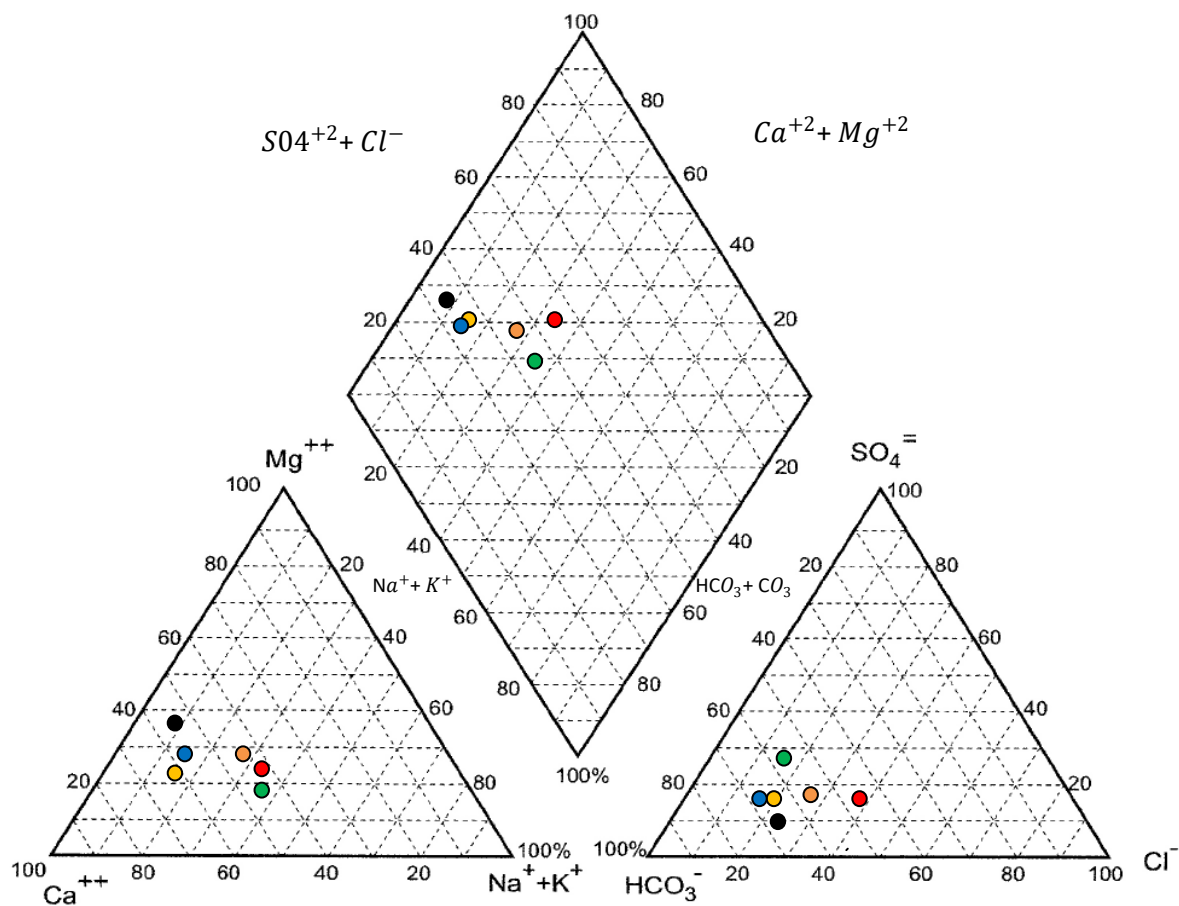


Figura 50. Coordenadas y cota para los dos puntos estudiados. En el recuadro azul se representan los datos para la riera de la Golarda y en el recuadro marrón los datos para el pozo de Perers.

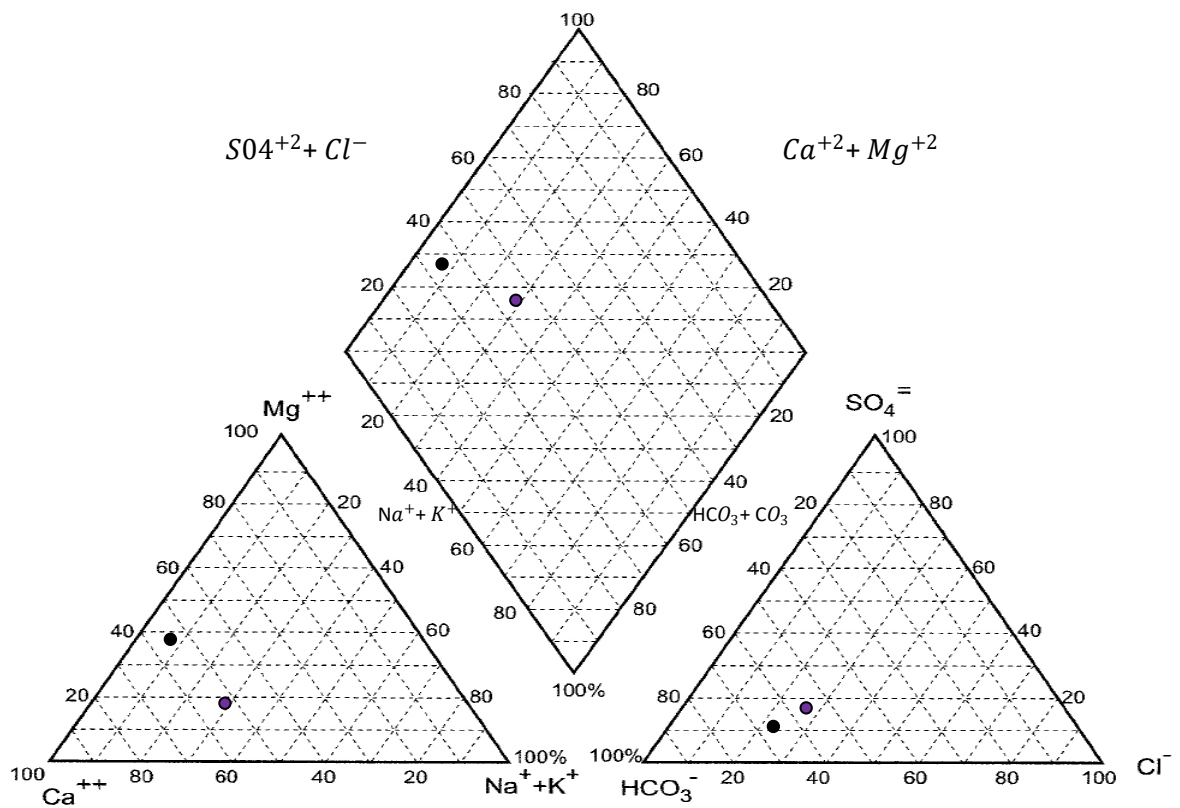
	R. Golarda	R. Golarda	R. Golarda	R. Golarda	R. Golarda	R. Golarda	P.Perers
Fecha de muestreo	25/1/2017	2/2/2017	13/3/2017	12/4/2017	6/6/2017	Media	20/3/2017
Aniones	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
HCO_3^-	366.00	346.20	311.10	309.00	287.10	323.86	400
SO_4^{2-}	84.00	63.00	108.00	61.00	57.00	74.60	47.00
Cl^-	170.20	62.90	46.70	44.70	76.70	80.24	71.00
NO_3^-	44.00	30.40	23.60	14.20	4.00	23.24	19.00
Σ aniones	664.20	502.50	489.40	428.90	424.80	501.94	537.00
Cationes	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Na^+	91.00	30.00	68.00	23.00	53.00	53.00	11.00
K^+	12.00	5.00	14.00	4.00	6.00	8.20	2.50
Ca^{+2}	100.00	103.00	89.00	86.00	78.00	91.20	76.00
Mg^{+2}	34.00	24.00	21.00	27.00	32.00	21.27	32.00
Σ cationes	237.00	162.00	192.00	140.0	169.00	173.67	121.50
Aniones	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L
HCO_3^-	6.00	5.67	5.10	5.06	4.71	5.31	6.56
SO_4^{2-}	1.75	1.31	2.25	1.27	1.19	1.55	0.98
Cl^-	4.80	1.77	1.32	1.26	2.16	2.26	2.00
NO_3^-	0.71	0.49	0.38	0.23	0.06	0.37	0.31
Σ aniones	13.26	9.25	9.04	7.82	8.12	9.5	9.84
$\text{Cl}^- + \text{NO}_3^-$	5.51	2.26	1.70	1.49	2.22	2.64	2.31
Cationes	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L
Na^+	3.96	1.31	2.96	1	2.31	2.31	0.48
K^+	0.31	0.13	0.36	0.10	0.15	0.21	0.06
Ca^{+2}	5	5.15	4.45	4.30	3.90	4.56	3.80
Mg^{+2}	2.81	1.98	1.73	2.23	2.64	1.76	2.64
Σ cationes	12.07	8.57	9.50	7.63	9.00	8.84	6.99
$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	4.27	1.44	3.32	1.10	2.46	2.52	0.54
Aniones	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
HCO_3^-	45.26	61.35	56.39	64.74	57.96	55.89	66.61
SO_4^{2-}	13.28	14.17	24.84	16.22	14.60	16.34	9.93
Cl^-	36.21	19.18	14.56	16.11	26.64	23.83	20.34
NO_3^-	5.35	5.30	4.21	2.93	0.79	3.95	3.11
Σ aniones	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
$\text{Cl}^- + \text{NO}_3^-$	41.56	24.48	18.77	19.04	27.43	27.78	23.45
Cationes	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Na^+	32.79	15.24	31.13	13.11	25.61	26.10	6.85
K^+	2.54	1.49	3.77	1.34	1.70	2.37	0.92
Ca^{+2}	41.41	60.13	46.84	56.33	43.32	51.63	54.40
Mg^{+2}	23.26	23.14	18.26	29.22	29.36	19.89	37.84
Σ cationes	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	35.33	16.73	34.9	14.55	27.31	28.47	7.77

Figura 51. Representación de los valores y resultados obtenidos para cada muestra analizada. Cada muestra está relacionada con un color característico



- Riera de la Golarda -> Correspondiente al día 25/1/2017.
- Riera de la Golarda -> Correspondiente al día 2/2/2017.
- Riera de la Golarda -> Correspondiente al día 13/3/2017.
- Riera de la Golarda -> Correspondiente al día 12/4/2017.
- Riera de la Golarda -> Correspondiente al día 6/6/2017.
- Pozo de Perers -> Correspondiente al día 20/3/2017.

Figura 52. Representación en el diagrama de Piper de los resultados de todas las muestras. Cinco muestras pertenecen a la riera de la Golarda y una al del pozo de Perers. Cada muestra está interpretada con un color diferente, correspondientes a la figura 51. (Willard, 2008)



● Resultados para el Pozo de Perers

● Riera de la Golarda -> Resultado obtenido a partir de la media calculada correspondientes a los diferentes días

Figura 53. Interpretación de los resultados correspondientes a la muestra del Pozo de Perers, color negro, y a la muestra calculada a partir de las 5 muestras de la riera de la Golarda, color lila. (Williams, 1983)

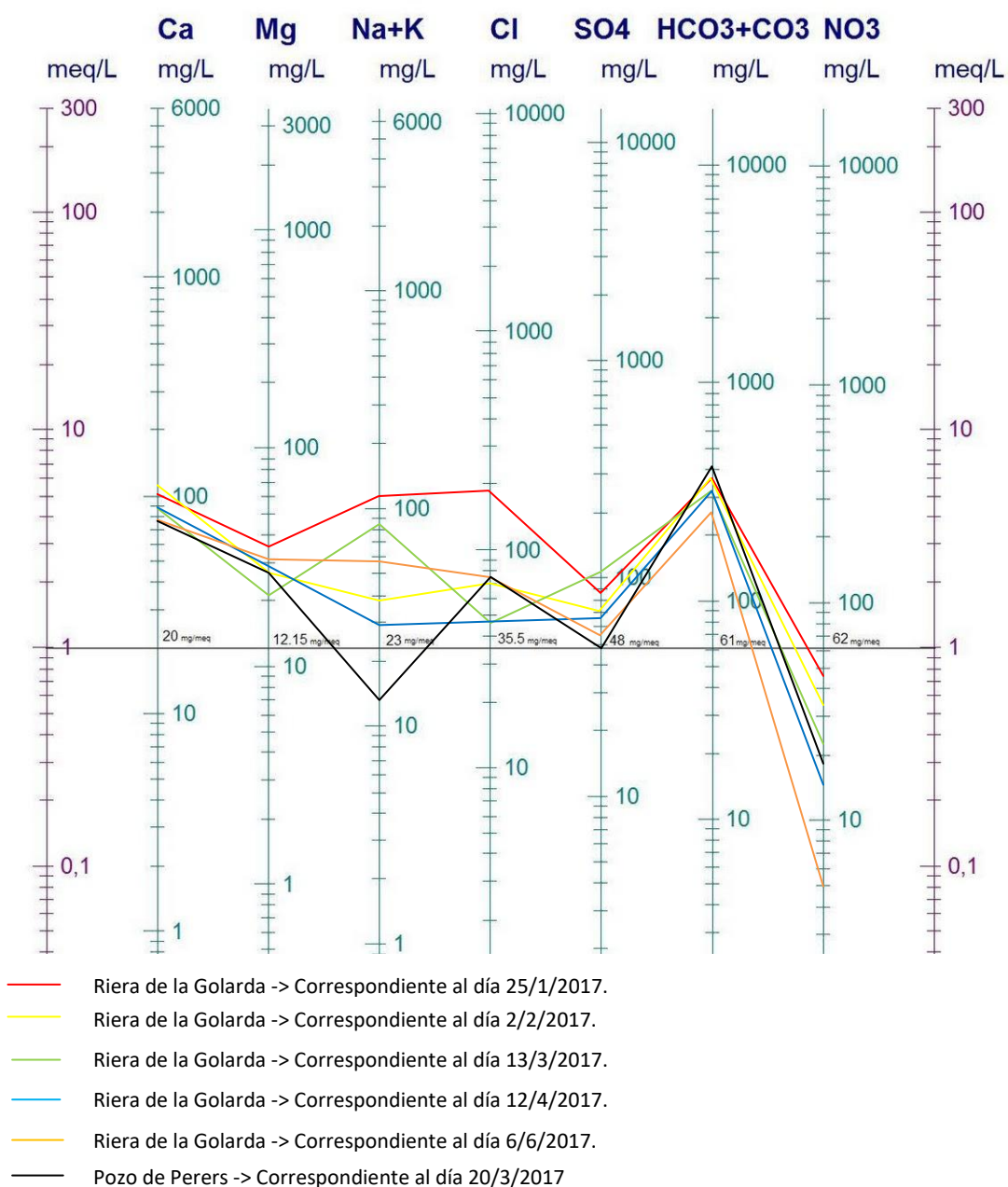
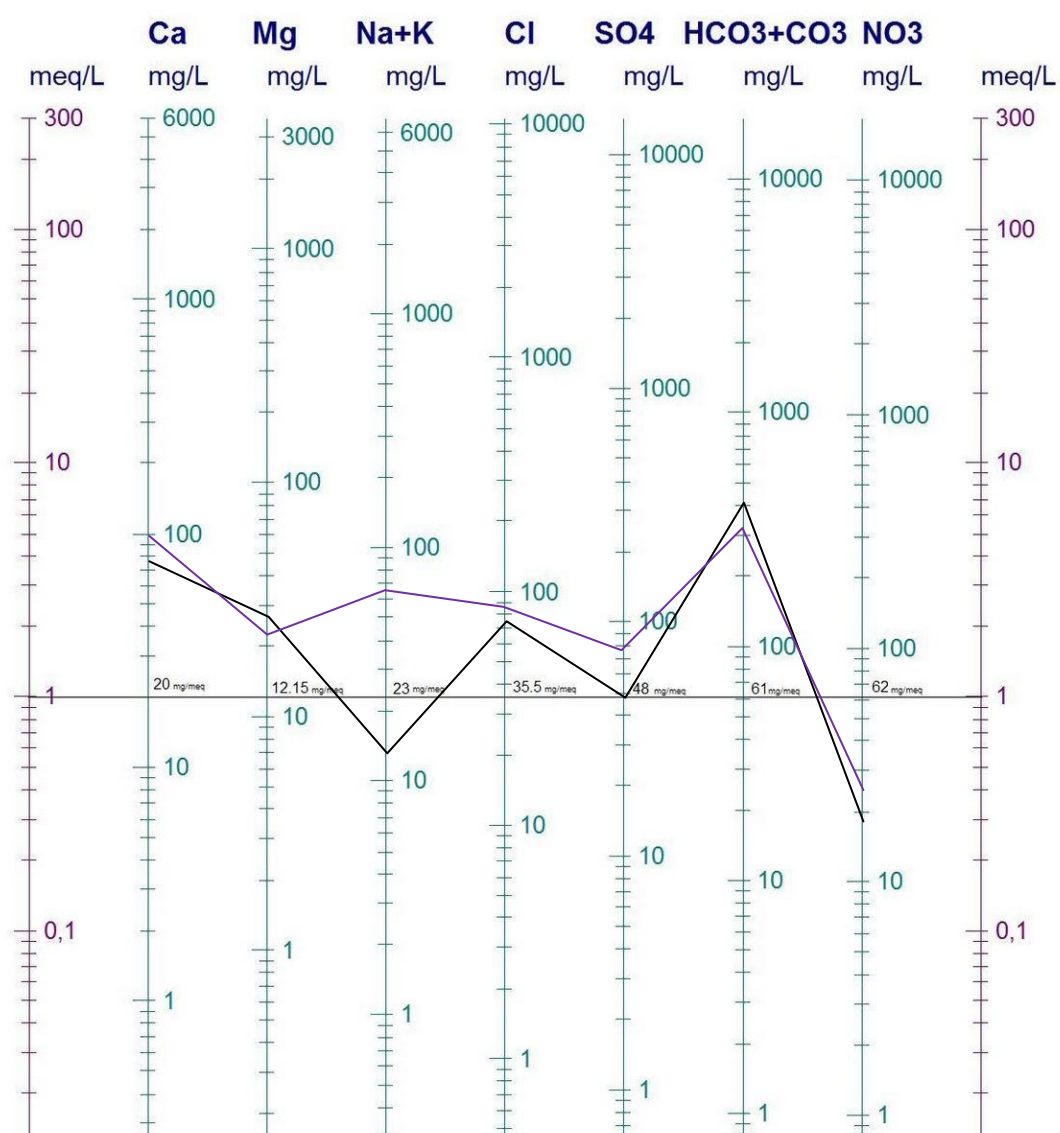


Figura 54. Representación en el diagrama de Schoeller-Berkaloff de los resultados obtenidos para cada muestra. Cada línea hace referencia a una muestra diferente. Los colores otorgados para cada muestra se observan en la figura 51. (Williams, 1983)



— Pozo de Perers -> Correspondiente al día 20/3/2017

— Riera de la Golarda -> Resultado obtenido a partir de la media calculada para los diferentes días.

Figura 55. Interpretación en el diagrama de Schoeller-Berkaloff de los resultados correspondientes al pozo de Perers y a la media obtenida para la riera de la Golarda. (Williams, 1983)

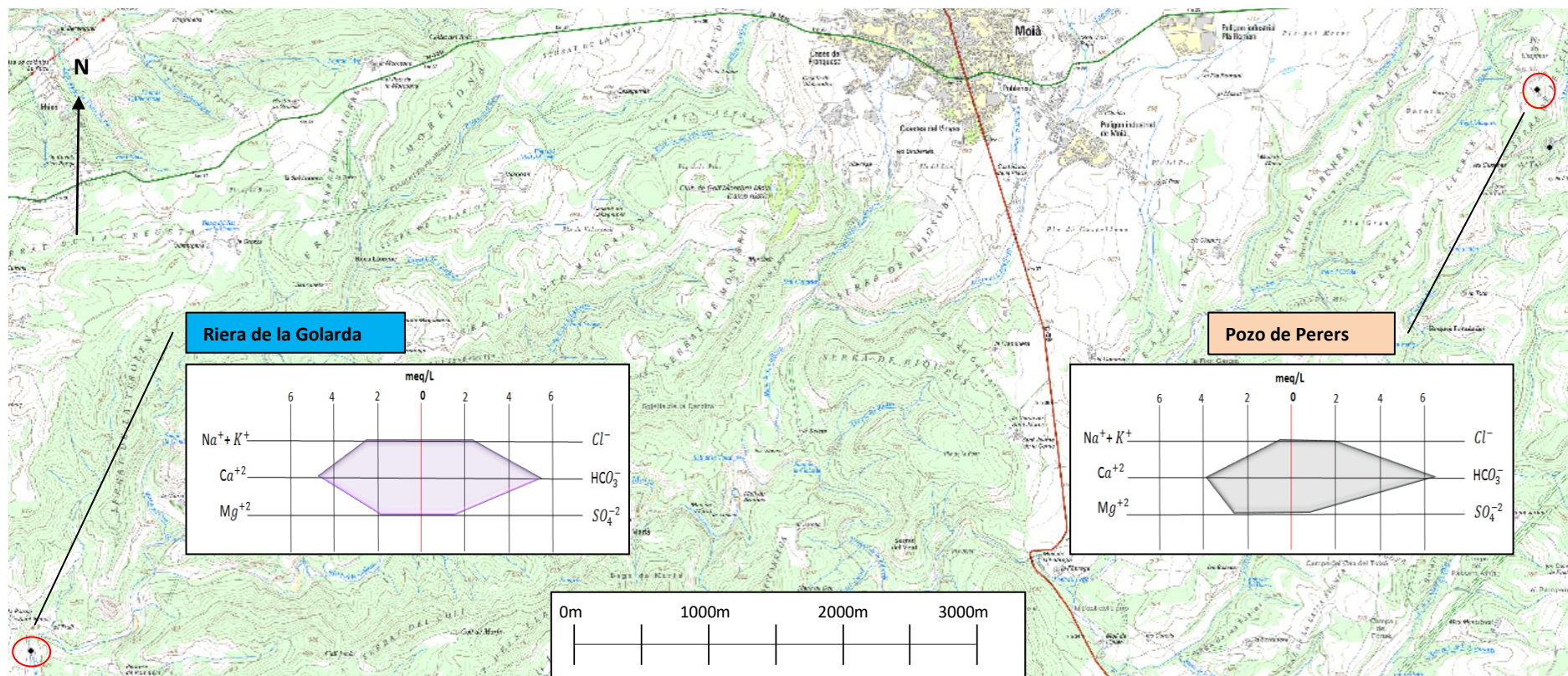


Figura 56. Representación en un mapa topográfico del diagrama de Stiff para los dos puntos estudiados. El diagrama de Stiff interpretado en color lila pertenece a la media calculada para la riera de la Golarda, y en negro los resultados para el pozo de Perers.

9. DISCUSIÓN

Las cuevas del Toll, ubicadas en el municipio de Moia, contienen restos de huesos de animales y utensilios correspondientes al hombre Neandertal durante el Paleolítico Medio. Estos restos hallados la convierten en una de las cuevas prehistóricas de Europa más rica en la fauna del Cuaternario. Se trata de un conjunto de cavidades formadas a partir de un modelado Kárstico, donde la litología dominante es la caliza. Esta formación litológica, denominada calizas de Colluspina, está caracterizada por un sistema de diaclasas transversales en dirección N-S y E-W, que es la misma dirección que presenta las galerías que forman la cavidad del Toll.

La cavidad principal, cueva del Toll, está formada principalmente por dos galerías: sur y este. Y es en la galería este donde a partir de la inundación del año 1981 se originó un hueco de grandes dimensiones que provoca que cada vez que se presentan precipitaciones con grandes volúmenes de agua, la cavidad presenta agua de manera importante o hasta incluso se puede inundar totalmente como ocurrió el pasado 25 de Marzo de 2017. La problemática reside en evitar estas pequeñas o grandes inundaciones para poder preservar los restos que se van encontrando y poder seguir teniendo actividades guiadas para poder visualizar esta cavidad de belleza emblemática. Cabe destacar, que al final de galería sur, existe un tramo que es visitable únicamente por espeleólogos que comunica con el exterior, con la surgencia del Toll. Y también existe una sima, que se comunica con el final del tramo de la galería este, sima del Bassot.

Por lo que se ha podido estudiar en este proyecto, las inundaciones importantes como la que ocurrió el pasado mes de Marzo, aconteció cuando las precipitaciones superaban un valor de 40 mm. Entre los 20 y 40 mm, la cavidad presenta agua, pero es a partir de los 40mm cuando la cavidad se anega completamente. Se sabe, que el agua presente en la cueva, empieza su recorrido en la zona conocida como trompa de elefante. Pero lo que no se sabe es el origen de esta agua, es decir, su procedencia. Se tiene conocimiento, que existe un acuífero subterráneo que se activa con las precipitaciones y donde la capa freática asciende provocando las anegaciones. Pero aún así, no se sabe con exactitud si el agua presente en la cavidad proviene de dicho acuífero.

A continuación se analizan los resultados para el estudio hidrológico.

→ Discusión resultados fuentes naturales y comparación con los valores en la Cuevas del Toll

- Los nitritos es una especie química poco estable donde en aguas superficiales bien oxigenadas, la concentración en aguas superficiales no supera el 0.1 mg/L.
- Los resultados para los fosfatos es poco significativa y la concentración en amonio se mantiene igual para todas las fuentes.
- Los resultados en las fuentes naturales para el anión cloruro establece una relación con la conductividad eléctrica. Como esta propiedad está vinculada a la cantidad de sales disueltas, es de esperar, que por normal general, el valor de la conductividad eléctrica aumente con el contenido en sales, en nuestro caso, del anión cloruro.
- Los valores de pH para las fuentes oscilan entre los valores 7.5 y 8.25. En cambio, los resultados para la cueva del Toll los valores para el pH no llegan a 8.0. Los resultados confirman, como era de esperar, que las aguas superficiales tienen un pH más alto que las subterráneas. Esto es debido a que en zonas profundas, como en el caso del agua presente en la cueva del Toll, son zonas pobres en oxígeno y con microorganismos reductores que proporcionan valores inferiores de las aguas superficiales de hasta 1.0 upH.
- Los valores en nitratos para las fuentes son relativamente bajos, a excepción de la fuente de Vilarjoan, donde su valor asciende a 57.3 mg/L. Esta alta concentración está relacionada con el vertido de purines en un campo localizado encima de la fuente natural. Las concentraciones en nitratos para las muestras del Toll, también son elevadas. El origen de los nitratos en aguas subterráneas no está claro, puede proceder de la disolución de rocas y minerales, de la descomposición de materias vegetales y animales, de efluentes industriales y del lixiviado de tierras de labor en donde se utilizan abonos que los contienen. Pero cabe destacar, que el anión nitrato, dentro de las especies nitrogenadas, es la forma más usual y estable en aguas subterráneas. Esta especie procede de la oxidación de NH_3 y NH_4^+ . Los procesos de oxidación-reducción de las especies nitrogenadas en el agua están influenciados por fenómenos biológicos y, en consecuencia, los productos finales dependerán del número y tipo de organismos que intervengan en ellos. Por lo tanto, se puede decir, que las altas concentraciones en nitratos en las aguas subterráneas se debe primordialmente a la descomposición de la materia orgánica.

→ Discusión resultados para las muestras de la cueva del Toll.

- Se determina que dentro de la cavidad, determinado por una morfología kárstica, existe una disolución de la caliza que es potenciada por el aporte del dióxido de carbono y/o ácidos orgánicos o inorgánicos que dan lugar a la presencia en el agua de carbonatos y bicarbonatos.
- La gran mayoría de las muestras recogidas son incoloras, pero existen diferentes días de recogida en que el agua tiene cierto tono marrón. Una de las posibles causas se debe a la descomposición vegetal, dando lugar a materia orgánica en suspensión o a la presencia de sales solubles de hierro y manganeso.

- Las aguas subterráneas naturales suelen tener una concentración de HCO_3^- que suele variar entre los 50 y 400 mg/L aunque pueden alcanzar valores de hasta 800 mg/L. Estos valores se correlacionan con los valores obtenidos para las muestras obtenidas ya que varían entre los 300 y 480 mg/L.
- Los valores para el parámetro dureza, clasifica las muestras de agua como muy duras o también llamadas aguas calizas ya que sus valores superan en la gran mayoría los 300 mg/L y el valor límite para denominarla con este término es de 180 mg/L.
- Los bajos valores obtenidos para el ión nitrito (NO_2^-) determinan la oxidación del NH_3 como consecuencia de la reducción microbiana o no, de los nitratos. La presencia de este ión en las aguas se considera como indicio fundado de una posible contaminación reciente (dada su inestabilidad) y de la impotabilidad del agua como consecuencia a la toxicidad de este ión.

→ Discusión resultados en el estudio hidroquímico para el pozo de Perers y riera de la Golarda

- Existe una agrupación en los resultados para todas las muestras de agua representados en el diagrama triangular de Piper. Esta asociación informa un quimismo de aguas bicarbonatadas-cálcicas. Cabe destacar, que existen unas pequeñas diferencias en los resultados calculados entre la media obtenida para la riera de la Golarda y el Pozo de Perers. La riera de la Golarda tienen una concentración muy elevada en el catión compuesto por sodio y potasio en comparación con la muestra pozo de Perers. También existe esta relación para los aniones sulfatos y cloruros. Estas diferencias son observables en el diagrama de Piper de la figura 52.2.
- Los resultados representados en la primera figura para el diagrama de Schoeller-Berkaloff, presentan una morfología similar. Por regla general, todos los resultados empiezan con una disminución al pasar del catión cálcico al magnésico y terminan con una morfología en forma de uve invertida. Pero hay que destacar que existen diferencias entre los iones Na^+ y Cl^- , sobretodo en las muestras referidas al torrente del día 25/1 y a la del pozo de Perers el 20/3. La primera tiene una concentración muy elevada de los cationes $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ y del anión Cl^- . A diferencia de la muestra de Perers que tiene una concentración muy baja de $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ y después un aumento brusco de la concentración de cloruros. Estas comparaciones también son observables en la figura 53.2. Estas altas concentraciones para los cationes sodio y cloro en la riera de la Golarda, son interpretadas como una contaminación en la riera debido al vertido de purines de una granja próxima.
- Los diagramas de Stiff realizados, muestran una morfología similar. A este tipo de morfología que adoptan los resultados se les denomina como 'punta de flecha', donde existe un pico predominante del anión bicarbonato. Este tipo de morfología corresponde a aguas subterráneas naturales.

- Se puede observar que las concentraciones de los cationes para el pozo de Perers determina un agua primitiva con unos valores característicos que evoluciona y alimenta a la riera de la Golarda que se encuentra a una altitud inferior. Es determinante el aumento de la concentración del catión calcio en relación a la altitud. Conforme el agua se desplaza desde el pozo de Perers a la riera de la Golarda se enriquece de este catión, haciendo que el quimismo de las aguas sea bicarbonatadas cálcica.

→ Posibles orígenes de las aguas que anegan la cueva del Toll.

Con los resultados obtenidos en el apartado anterior y debido a la imposibilidad de obtener una muestra de agua completa con los parámetros físico-químicos de la cueva del Toll por motivos que se comentarán en el momento adecuado, las hipótesis y no conclusión de este proyecto, determinan que la procedencia del agua que inunda esta cavidad puede proceder de varios lugares:

- A. Procedencia del agua en la cavidad a partir del torrente del Bassot, mediante la infiltración del agua en periodos de lluvia. Debido a que el torrente transcurre a una altitud más alta que la cavidad del Toll, este tramo descendiente permite la infiltración del agua en las calizas presentes en todo el tramo. Esta hipótesis también es viable ya que existe comunicación interna con la Sima del Bassot y la galería este de la cueva del Toll, próxima a la trompa de elefante.
- B. Observación de una serie de huecos en el embalse localizado en las proximidades del torrente del Mal y encajado en las calizas, figura 31, conjetura la conexión subterránea mediante galerías entre el embalse y la trompa de elefante.
- C. Debido a la potente capa de calizas que existe por encima de la cueva del Toll, la infiltración en periodos de lluvia puede desembocar en una galería subterránea conectada con el agujero presente cerca de la trompa de elefante.

Las hipótesis A y B serían únicamente demostrables mediante una técnica de pigmentación en el agua, con algún tipo de material químico que no alterase la composición del agua para poder determinar si el agua que se origina dentro de la cavidad procede del embalse localizado en el exterior o proviene del torrente del Bassot. Debido a que esta técnica conlleva un gasto extra, no se ha podido proceder a realizarla.

Lamentablemente, no se ha podido obtener una muestra analítica completa para las cuevas del Toll ni tampoco los resultados para las gravas encontradas dentro de la cavidad. Los motivos y causas serán expuestos el día de la defensa del proyecto.

10. CONCLUSION

Es un hecho que las cuevas del Toll tienen un problema si a inundaciones se refiere. Cada vez que las precipitaciones superan los 40mm de agua, la cueva del Toll empieza a presenciar agua en su interior que va en aumento en relación a las precipitaciones acontecidas, como se ha podido observar el 25 de Marzo de este año.

Se ha podido observar la composición química para cuatro tipos de agua: fuentes naturales, agua dentro de la cavidad del Toll, riera de la Golarda y para el pozo de Perers. Lamentablemente no se ha podido obtener los mismos parámetros analizados para cada una de las muestras. Esto ha conllevado que no se pudiera unificar los resultados y hacer un análisis hidroquímico como correspondería. Cabe destacar, que los análisis de las fuentes naturales ha proporcionado la información necesaria para identificar que estas aguas se encuentran en buen estado, exceptuando la fuente de Vilarjoan, que se encuentra en estado deficiente. Por otro lado, los resultados de las muestras recogidas dentro de la cavidad del Toll nos informan básicamente que se trata de un agua subterránea rica en bicarbonatos y nitratos. Los resultados para las muestras recogidas en la riera de la Golarda, concluyen que se tratan de aguas bicarbonatadas cálcicas, como era de esperar, ya que esta riera circula por las mismas calizas que forman la cueva del Toll. Y por último, los resultados para el pozo de Perers, agua primitiva al igual que el agua de la cavidad del Toll, tiene un comportamiento diferente si a cationes se refiere pero similar en aniones, respecto la riera de la Golarda.

Con esta información, se ha podido concluir que los resultados para las muestras de aguas son similares ya que presentan una alta concentración de bicarbonatos. Esto era determinante, ya que permite corroborar que la formación geológica o litología presente en la zona de estudio son calizas, las calizas de Collsuspina.

Con este estudio, no se ha podido resolver el problema presente en la cueva del Toll, ya que han faltado parámetros para poder solventarlos. Únicamente se han formulado varias hipótesis que intentan complementar y aportar la información necesaria a la Diputación de Barcelona que actuará a finales del 2017.

A nivel personal, ha sido un placer trabajar con las personas que forman parte del complejo del Toll, donde me han ayudado y proporcionado toda la información necesaria para poder solventar la problemática existente y poder concluir este proyecto, quizás no de la manera en como hubiera querido, pero debido a diferentes acontecimientos que se defenderán el día de la exposición no ha podido ser. Estoy encantada de haber conocido este lugar mágico que recomiendo a todo el mundo que visite.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, F., Peón, A., Rosell, O., Trilla, J., Obrador, A., Ruiz, T., y otros. (1976). *Mapa Geológico de España 1:50000*. segunda serie, 364 La Garriga: 1-35, un mapa 1:50000. IGME, Madrid.
- Arbel, Y., Greenbaum, N., Lange, J., & Inbar, M. (2010). *Infiltration processes at low rates in developed karst vadose zone using tracers in cave drips*. Earth Surf. Proc. Land. 35 (14), 1682-1693.
- Baker, A., & Brunsdon, C. (2003). *Non-linearities in drip water hydrology: an example from Stump Cross Caverns, Yorkshire*. J. Hydrol. 277 (3-4), 151-163.
- Bastida, F. (2005). *Geología: una visión moderna de las Ciencias de la Tierra* (Vol. II). Asturias: TREA.
- Bergadà, M. (2004). *Geoarqueologia del complex càrstic del Toll i de la Balma del Gai (Moià): antecedents i estat actual de recerca*. Reunió commemorativa del 50 aniversari del destapament de la Galeria Sud de la Cova del Toll. Inèdit. Pendent de publicació.
- Butzer, K. W., & Freemas, L. G. (1968). *Pollen analysis at the cueva del Toll, Catalonia: a critical re-appraisal*. Geologie en Mijnbouw, vol. 47 (2). pp. 116-120.
- Cardona, F. (1990). *Grans cavitats de Catalunya: el sistema mediterrani i la depressió central*. Badalona: Club de Gràcia II: 443-446.
- Castellví, M. (1970). *Estudio de la cueva de les Teixoneres*. Barcelona: Tesis de Licenciatura.
- De Lumley, H., & Ripoll, E. (1965). *El Paleolítico Medio en Catalunya*. Barcelona: Ampurias XXVI-XXVII, pp. 37-43.
- Drugué, E. (1998). *GEOTOP 221 COVES DEL TOLL- COLLSUSPINA*. Barcelona: Informe. Unitat de Geotectònica. Departament de Geologia. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Fàbrega Gallaguet, M. (1994). *Aproximació a l'estudi hidrogeològic de Moià*. Moià: Informe.
- Fàbrega Gallaguet, M. (1997). *Estratigrafia i fàcies de sediments continentals de l'Eocè superior del sector SE de la depressió central catalana*. Memoria. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Fàbrega, M. G. (2008). *Parc Prehistòric de les Coves del Toll*. Montesquiu. Museo de Moià.
- Fernández, J. M. (Noviembre de 2014). *Paleoantropología hoy*. Recuperado el 15 de Mayo de 2017, de Actualidad y difusión de las investigaciones antropológicas: <http://paleoantropologiahoy.blogspot.com.es/2014/11/cova-del-toll-y-cova-de-les-teixoneres.html>
- Ferrer, J. (1971). *El Paleoceno y Eoceno del borde sur oriental de la Depresión del Ebro (Cataluña)*. Mem. Suisses de Paleontol. Vol 90.70 pp- Tesis Doctoral.

Ford, D., & Williams, P. (2007). *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. London: John Wiley & Sons.

García, M. (2014). *Paleoecología y biocronología mediante el estudio de roedores del Pleistoceno Superior- Holoceno de la cueva del Toll (Moià, Cataluña, NE de la península Ibérica)*. Treball del Museu Geològic. Barcelona, 20: 73-97.

Gómez, E. (2001). *Les Coves del Toll*. 1-35. Associació Cultural Modilianum, Moià.

Kiraly, L., Perrochet, P., & Rossier, Y. (1995). *Effect of the epikarst on the hydrograph of the karst springs: a numerical approach*. Bull. d'hydrogéol. 14, 199-220.

Llopis Lladó, N. (1970). *Fundamentos de hidrogeología cárstica (introducción a la geoespeleología)*. Madrid: Blume.

Maestro, E. (1987). *Estratigrafia i Fàcies del Complex Deltaic (Fan Delta) de Sant Llorenç del Munt (Eocè mig-superior)*. . Catalunya: Universitat Autònoma de Barcelona. 331p. Tesis Doctoral. Inèdit.

Masriera, A. (1968). *Contribución al estudio sedimentológico de la cueva del Toll. Morfometría y caracteres de los cantos del nivel H, galería sur*. Geo y Biokarst, 18. pp. 4-6.

Quintana Vilajuana, A., & Vives i Bové, L. (2012). *Anàlisis químicas de les Deus de Moià*. Institut Moianès.

Reguant, S. (1967). *El Eoceno marino de Vic (Barcelona)*. Mem. Inst. Geol. y Min. Tomo 68. 330 pp.

Riba, O., Reguant, S., Colombo, F., Busquets, P., Vilaplana, M., Anadon, P., y otros. (1975). *Le Bassin Tertiaire Catalan Espagnol et les gisements de potasse*. Ixe Cong. Int. Sed. 84 pp.

Rosell, J. (2007). *Memòria d'intervenció arqueològica. Cova del Toll*. Agost-Setembre del 2006. 1-65. Universitat Rovira i Virgili, Tarragona. (Inèdita).

Rosell, J., Blasco, R., Cebrià, A., Morales, J., & Rodríguez-Hidalgo, A. (2009). *Velles idees, nous paradigmes: la cova de les Teixoneres i la consolidació d'un nou projecte de recerca al Moianès*. Modilianum. Revista d'estudis del Moianès, 41: 5-20.

Saez, A. (1987). *Estratigrafia y sedimentología de las formaciones lacustres del tránsito Eoceno-Oligoceno del NE de la Cuenca del Ebro*. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona. Publicacions de la Universitat de Barcelona, ed. Microficha, 353pp.

Sala, X., & Ferrer, J. (2007). *Aixecament planimètric de les Coves del Toll. Galeries Sud i Est. Moià (Bages)*. Ajuntament de Moià.

Sánchez, C. H., Talamo, S., Blasco, R., Rivals, F., Picin, A., Gema, C., y otros. (2016). *The Radiocarbon Approach to Neanderthals in a Carvivore Den Site: a Well Defined Chronology for Teixoneres Cave (Moià, Barcelona, Spain)*. Cambridge Core. Radiocarbon , 58, 247-265.

Serra, J. (1956). *La Cueva del Toll de Moyá, Informes y Memorias de la Comisaría de Excavaciones*. núm.32, p.123-131.

Serrat, D., & Albert, J. (1973). *Estudio sedimentológico de los materiales de relleno de la cova de les Teixoneres*. *Speleon*, 20. pp 63-79.

Williams, P. (1983). *The role of the subcutaneous zone in karst hydrology*. *J. Hydrol.* 61 (1), 45-67.

Yonge, C., Ford, D., Gray, J., & Schwarcz, H. (1985). *Stable isotope studies of cave seepage water*. *Chem. Geol: Isotope Geosci. Section* 58 (1), 97-105.

ANEXOS

TABLAS

- Resultados para las fuentes naturales mediante la media aritmética.

	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	Cloruros (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Amonio (mg/L)
F. de la Falsia	570	8	19.5	0	1.25	0.01	0.05
F. de Cal Gira	651	8	24	1.25	5	0	0.05
F. del Raurell	608	8	28.25	2.5	1.25	0	0.05
F. de Montserrat	887	7.5	94.25	2.5	12.5	0.01	0.05
F. de Pasarell	585	8.25	40.25	0	5	0	0.05
F. del Prat	990	8	42	0	1.25	0	0.05
F. Vilarjoan	1280	7.8	80	0	57.3	0,1	0.05
F. de las Fuentes	882	7.9	50.5	0	10	0	0.05

- Resultados muestras de agua en la cueva del Toll

	Lugar extracción	Color	pH	Conductividad eléc- trica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Dureza (mg/L)	Bicarbonatos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Nitratos (mg/L)
26/04/2012	Sala T	incolora	7.38	739	426	407	< 0.02	28.6
31/05/2012	Sala T	incolora	7.38	740	420	418	< 0.02	26.0
06/03/2013	Sala T	Marrón	7.2	607	335	337	< 0.02	25.5
15/03/2013	Sala T	incolora	7.26	702	415	389	< 0.02	37.0
13/04/2013	Sala T	incolora	7.56	717	413	404	< 0.02	31.7
02/05/2013	Sala T	incolora	7.19	621	383	404	0.05	19.4
03/06/2013	Sala T	incolora	7.87	678	420	406	< 0.02	25.1
13/09/2013	Sala T	incolora	7.32	549	337	345	0.02	29.9
21/11/2013	Sala T	incolora	7.23	644	380	332	0.03	30.4

	Lugar extracción	Color	pH	Conductividad eléc- trica (µS/cm)	Dureza (mg/L)	Bicarbonatos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Nitratos (mg/L)
22/01/2014	Sala T	incolora	7.44	664	403	372	0.02	34.8
06/06/2014	Sala T	incolora	7.42	727	380	416	< 0.02	25.5
01/10/2014	Sala T	incolora	7.93	607	375	429	< 0.02	27.3
19/12/2014	TROMPA	incolora	7.50	847	400	453	0.03	29.0
24/03/2015	TROMPA	incolora	7.11	797	350	392	< 0.02	28.2
31/03/2015	Sala T	incolora	7.16	783	360	439	< 0.02	21.6
04/11/2015	Sala T	Marrón	7.23	765	380	454	< 0.02	22.0
22/03/2016	Sala T	incolora	7.51	810	410	466	< 0.02	35.2
06/04/2016	Sala T	incolora	7.2	593	345	466	< 0.02	17.2
29/09/2016	TROMPA	Ligeramente marrón	7.53	588	325	357	< 0.02	66.0
14/10/2016	TROMPA	incolora	7.09	607	300	354	< 0.02	28.2
24/11/2016	Sala T	incolora	7.05	645	350	364	< 0.02	26.8
25/01/2017	Sala T	incolora	6.97	859	395	392	< 0.02	34.5
31/01/2017	TROMPA	incolora	7.14	738	366	422	< 0.02	30.1
09/02/2017	TROMPA	incolora	7.18	821	370	433	< 0.02	34.8
14/02/2017	Sala T	Ligeramente marrón	7.21	815	385	404	< 0.02	17.6
24/02/2017	MEANDRES	Ligeramente marrón	7.19	815	380	436	< 0.02	31.2
08/03/2017	Sala T	incolora	7.24	751	375	432	< 0.02	25.5

FOTOS CORRESPONDIENTES A LA FIGURA 29

• Punto A



• Punto B



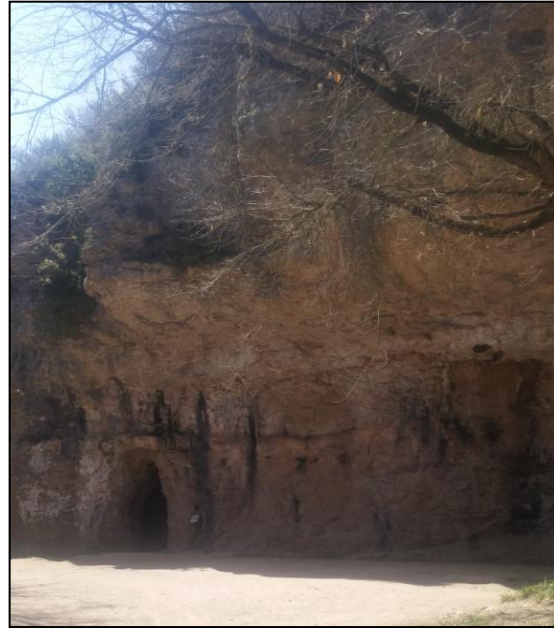
• Punto C



• Punto D



• Punto E



• Punto F



• Punto G

